

ميكروبيولوجيا التربة الزراعية

دكتور

حسين عبد الله محمد الفضالي

أستاذ ورئيس قسم الميكروبيولوجيا

كلية الزراعة بدمياط - جامعة المنصورة

الطبعة الأولى

٢٠٠٨

ميكروبيولوجيا التربة الزراعية

دكتور

حسين عبد الله محمد الفضالي

استاذ ورئيس قسم الميكروبيولوجيا

كنية الزراعة بدمياط – جامعة المنصورة

الطبعة الأولى

٢٠٠٨

عنوان الكتاب : ميكروبيولوجيا التربة الزراعية

المؤلف : أ.د/ حسين عبد الله محمد الفضالي

الناشر : مكتبة نانسى - دمياط

سنة النشر : ٢٠٠٨ م

رقم الطبعة : الأولى

رقم الإيداع : ٢٠٠٨ / ٢٥١ - 6251/ 2008

الترقيم الدولي : ٩ - ٥٩ - ٦١٨٦ - ٩٧٧

I.S.B.N 977 - 6186 - 59 - 9

حقوق النشر : محفوظة للمؤلف

لا يجوز طبع أو نسخ أو تصوير أو تسجيل أو اقتباس أى جزء من الكتاب أو تخزينه بأية وسيلة ميكانيكية أو إلكترونية بدون إذن كتابى من المؤلف مقدماً

إهداء

إلى كل من علمنى حرفاً فى مشوار العلم الطويل
إلى كل أساتذتى الذين بذلوا جهدهم مخلصين
ليمهدوا لنا الطريق ويتخطوا بنا العقبات ويذلّوا
لنا الصعاب ، أقدم لهم خالص شكرى وتقديرى
لجهدهم وعرفانا منى بالجميل

١	مقدمة
	الفصل الأول
٣	تركيب التربة الزراعية وعلاقتها بالمجتمع الميكروبي
٣	تركيب التربة الزراعية
٨	الأحياء الدقيقة بالتربة الزراعية
	الفصل الثاني
٥٥	الإسزان الميكروبي في التربة الزراعية
٥٥	أولا : علاقات الحباد
٥٦	ثانياً : علاقات التعاون والنفع
٦٣	ثالثاً : علاقات التضاد
٧٩	الفصل الثالث
٧٩	ميكروبات سطح النبات (الفاييتوسفير)
٨١	أولا : ميكروبيولوجيا المنطقة المحيطة بجذر النباتات
٩٤	ثانياً : ميكروبيولوجيا المنطقة المحيطة بسطح الأوراق "الفيللوسفير"
	الفصل الرابع
١٠١	التحولات الميكروبية للمركبات الكربونية في التربة الزراعية
١٠١	تحلل المواد العضوية الكربونية المختلفة في التربة الزراعية
١٠٩	
(١)	

١١٠ تحليل النشا

١١٤ تحليل السليلوز

١٢٤ تحليل المواد البكتينية

١٣٣

الفصل الخامس

١٣٣ التحولات الميكروبية للمركبات النيتروجينية في
التربة الزراعية

١٣٥ أولا : معدنة النيتروجين العضوي

١٤٢ ثانيا : فقد النيتروجين من التربة

١٤٦ ثالثا : تثبيت النيتروجين الجوي

١٤٩ الكائنات المثبتة للنيتروجين بطريقة

حرّة (تثبيت لاتكافلي)

١٥٦ تلقّيح التربة بالميكروبات اللاتكافلية

المثبتة للنيتروجين الجوي

١٥٨ الكائنات المثبتة للنيتروجين الجوي

تكاافليا (معاشرة)

١٨٥

الفصل السادس

١٨٥ التحولات الميكروبية للمركبات الكبريتية في
التربة الزراعية

١٨٥ مصادر الكبريت في التربة

١٨٨ أولا : معدنة الكبريت العضوي

١٩١ ثانيا : تسيل الكبريت غير العضوي

في أجسام الميكروبات

١٩٢ ثالثا : أكسدة مركبات الكبريت غير

العضوية

١٩٨ رابعا : إختزال مركبات الكبريت

غير العضوية

- ٢٠١ نشاط السلفاتيز في التربة الزراعية
٢٠٢ الأسمدة الكبريتية

الفصل السابع

- ٢٠٧ التحولات الميكروبية للمركبات الفوسفورية في
التربة الزراعية
٢٠٨ ١- الفوسفور المعدنى
٢١٠ ٢- الفوسفور العضوى
٢١١ تحولات الميكروبية للمركبات الفوسفورية
في التربة
٢١٣ تلقيح التربة بالميكروبات المنذية للفوسفات
٢١٤ معدنة الفوسفور العضوى
٢١٧ تمثيل الفوسفور في أجسام الميكروبات
٢١٨ تفاعلات الأكسدة والإختزال لمركبات
الفوسفور في التربة
٢١٩ احتفاظ التربة بالفوسفور

الفصل الثامن

- ٢٢٥ التحولات الميكروبية لمركبات الحديد في التربة
الزراعية
٢٢٧ مصادر الحديد في التربة الزراعية
٢٢٨ التحولات الميكروبية للحديد في التربة
الزراعية
٢٣١ بكتيريا الحديد في التربة الزراعية
٢٣٥ إختزال الحديد في التربة الزراعية
٢٣٧ أسمدة الحديد

الفصل التاسع

- ٢٤١ إنتاج البيوجاز
٢٤٢ المواد القابلة للتخمير لإنتاج البيوجاز

٢٤٦	طاقة الميثان
٢٤٧	الأهمية الاقتصادية للبيوجاز
٢٥٠	تكوين غاز الميثان بيولوجيا
٢٥٩	العوامل المؤثرة على إنتاج البيوجاز
٢٦٧	

المراجع

المقدمة

Introduction

مقدمة

Introduction

من المعروف أن التربة ليست جسماً ميتاً نتج بسبب عوامل التعرية للصخور، بل هي جسم مليء بالحياة بما تحتويه من كائنات حية دقيقة وغير دقيقة تؤثر على خواصها الطبيعية والكيميائية والبيولوجية. وبدون مبالغة يمكن القول بأنه لولا الميكروبات بالتربة لتوقفت الحياة على سطح هذا الكوكب. فميكروبات التربة من بكتيريا وفطريات وطحالب وبروتوزوا، تلعب دوراً أساسياً في المحافظة على خصوبة التربة، وعلى إمداد النباتات اللازمة باحتياجاتها الغذائية وزيادة إنتاجيتها، وذلك من خلال معدنتها للمواد العضوية، وتيسير العناصر الغذائية وتثبيت النيتروجين الجوي وإفراز الكثير من المواد المشجعة لنمو النباتات Growth promoting substances. كما أن تلك الميكروبات لها دوراً فعالاً في المحافظة على التوازن البيولوجي في الكون عن طريق إنتاجها لثاني أكسيد الكربون CO_2 خلال عمليات تحليل المواد العضوية مما يعوض النقص الذي يحدث خلال عملية التمثيل الضوئي المستمرة، وفي تحلل ملوثات البيئة، وتحلل المبيدات الزراعية.

وقد تتنافس الميكروبات مع النباتات على العناصر الغذائية الموجودة بالتربة في ظروف معينة أو تفرز سموماً تؤثر على نمو النباتات، أو تسبب أمراضاً لها، فتؤثر بذلك على إنتاجيتها.

لذا كان من الضروري تفهم هذه العلاقات المتبادلة بين الميكروبات والأرض والنبات، وهذا ما يهدف إليه من دراسة هذا العلم "ميكروبيولوجيا التربة الزراعية Soil Microbiology" ومعرفة نشاط الكائنات الحية الدقيقة في التربة الزراعية. وقد ذكر الله تعالى في كتابه العزيز أهمية التربة الزراعية والماء في حياة الإنسان حيث قال تعالى في كتابه العزيز وهو لصدق لقائين

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَاللَّهُ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَحْيَا بِهِ الْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِقَوْمٍ يَسْمَعُونَ (الحج ٦٥)
أَوَكُم مَّنَ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا مَرْمًا فَفَتَنَاهُمَا وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ
شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ (الأنبياء ٣٠)

يَا أَيُّهَا الْكَافِرُونَ كُنْتُمْ فِي رَيْبٍ مِّنَ الْبَعْثِ فَإِنَّا خَلَقْنَاكُمْ مِّن نُّرَابٍ ثُمَّ مِّنْ نُفْثَةٍ ثُمَّ مِّنْ عَلَقَةٍ
ثُمَّ مِّنْ مُّضْغَةٍ مُّخَلَّقَةٍ وَغَيْرِ مُّخَلَّقَةٍ لَّتُبَيِّنَ لَكُمْ وَهُمْ فِي الْأُمْنِ حَامٍ مَا نَسَاءُ إِلَى أَجَلٍ مُّسَمًّى ثُمَّ
نُخْرِجُكُمْ طِفْلًا ثُمَّ لَتَبَلِّغُوهُ أَشَدَّكُمْ وَمِمَّكُمْ مَّنْ يُّؤْتَى وَمِمَّكُمْ مَّنْ يُمَرَّدُ إِلَى أُمْدَدٍ
الْعُمُرِ لِكَيْلَا يُغْلِبَ مَن بَعْدَ عَلَيْهِ شَيْئًا وَتَرَى الْأَرْضَ هَامِدَةً فَإِذَا أَنْزَلْنَا عَلَيْهَا الْمَاءَ اهْتَزَّتْ وَرَبَتْ
وَأَبْتَسَ مِّنْ كُلِّ شَيْءٍ نَّوْجٌ يَّهِيجُ (الحج ٥)

وَجَعَلْنَا فِيهَا جَنَّاتٍ مِّنْ نَّحِيلٍ وَأَعْنَابٍ وَقِجْرًا فِيهَا مِّنَ النَّيِّونِ (س ٣٣)
لِيَأْكُلُوا مِنْ ثَمَرِهِ وَمَا عَمِلَتْهُ أَيْدِيهِمْ أَفَلَا يَشْكُرُونَ (س ٣٤)
وَمِنْ آيَاتِهِ أَنْ تَرَى الْأَرْضَ خَاشِعَةً فَإِذَا أَنْزَلْنَا عَلَيْهَا الْمَاءَ اهْتَزَّتْ وَرَبَتْ إِلَى الَّذِي أَحْيَاهَا لَمُحْيِي
النَّوْجِ إِنَّهُ عَلَى كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ (فصلت ٣٩)

والله لسأل أن يؤدي هذا الكتاب للغرض المنشود منه في هذا المجال
لأبنائنا طلاب كليات الزراعة ومراكز البحث العلمي والمهتمين بمجال
الزراعة ومتخصصي الميكروبيولوجيا، وأن يجعله عمل ينتفع به في ميزان
حسنائنا إنه سميع الدعاء.

المؤلف

الفصل الأول :

تركيب التربة الزراعية
وعلاقتها بالمجتمع الميكروبي

**Soil Structure and its Relation
with Microbial Population**

الفصل الأول

تركيب التربة الزراعية وعلاقتها بالمجتمع الميكروبي

Soil Structure and its Relation with Microbial Population

تركيب التربة الزراعية Soil structure

من الناحية الايكولوجية فان التربة يسكنها كثير من الاحياء الميكروبية وغير الميكروبية , ولكن الاحياء الدقيقة الميكروبية هي التي تلعب الدور الرئيسي في امداد النباتات بالعناصر الغذائية وتكوين CO_2 وتحتوي التربة علي عديد من المجموعات الميكروبية مثل:

Viruses, Bacteria, Actinomycetes, Fungi, Protozoa , Algae

وتتأثر الميكروبات التي تعيش في التربة الزراعية بمكونات هذه التربة وظروفها الطبيعية والكيميائية كثيرا , وبصفة عامة فان للتربة تتكون من خمسة مكونات أساسية وهي الجزء المعدني , الجزء العضوي , الماء الأرضي (محلل التربة) , الهواء الأرضي , احياء التربة.

أولا : الجزء المعدني Mineral part

وهذه الحبيبات **Particles** (الجزيئات) تنتج عن عملية تعرية Erosion للصخور في صورة حبيبات مختلفة الأحجام , وهذا يؤدي إلى أن تتكون الأرض من خليط من حبيبات معدنية ذات أقطار مختلفة تتراوح من ٠,٠٠٢ ملليمتر حتى ٢,٠ ملليمتر أو أكبر. الحبيبات ذات أقطار أكبر من ٥٠ ميكرون تمثل الرمل بنوعيه خشن وناعم والحصى - الحبيبات ذات أقطار تتراوح من

٢-٥٠ ميكرون تمثل السلت Silt أما الحبيبات ذات قطر أقل من ٢ ميكرون تمثل الطين ونسب هذه الحبيبات إلى بعضها هو الذي يحدد قوام الأرض Soil texture .

ومن الحبيبات الداخلة في تركيب قوام الأرض تعتبر حبيبات الطين أهمها ، فهي تتميز بسطح كبير بالنسبة لوزنها ، ولها تأثيرات كبيرة على الصفات الطبيعية والكيميائية ، وبالتالي على النشاط البيولوجي فيها . ومعادن الطين لها تركيب بللوري طيفي ذو سطح نوعي Specific surface كبير ، ويختلف السطح النوعي باختلاف معدن الطين Clay (Montmorillonite or illite or kaolinite) ولقد ثبت ان معادن الطين لها تأثيرات مختلفة على ميكروبات التربة.

وحبيبات التربة لا توجد عادة في صورة منفردة ، بل تكون في صورة تكتلات Aggregates ب درجات مختلفة. ودرجة تكوين هذه التكتلات تحدد بناء التربة Soil structure ويلاحظ ان الميكروبات تلعب دورا أساسيا في بناء التربة حيث يقوم ميسيليوم الفطريات والاكثينومايستات بتجميع الحبيبات لتكوين الـ aggregates كما تلعب السكريات العديدة Polysaccharides والمواد اللزجة الأخرى التي تكونها البكتيريا دورا كبيرا في تكوينها ، ودرجة الـ Aggregation وحجمها ونظام تكوينها يؤثر من ناحية أخرى على النشاط الميكروبي لما له من انعكاس على التهوية Aeration .

ثانيا : المادة العضوية Organic material

تصل المواد العضوية ذات الاصل النباتي أو الحيواني إلى التربة باستمرار ، كما تصل إليها عديد من المركبات الجديدة نتيجة للنشاط الإنساني وخلال العمليات الزراعية مثل إضافة الأسمدة والمخلفات وبقايا النباتات

ومبيدات الحشائش والحشرات والفطريات . والمواد العضوية المختلفة التي تصل إلى التربة تتعرض للفعل الميكروبي المستمر ، وفي النهاية يتكون الدبال Humus ، والأخير له أهمية كبيرة في مستوي خصوبة التربة ومستوي إنتاجيتها إذ يعتبر المخزن الرئيسي الذي تستمد منه الميكروبات غذائها سواء بطريقة مباشرة ، أو غير مباشرة ، علاوة على تأثيره في قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء (WHC) Water Holding Capacity وسعته التبادلية العالية (IEC) High Ion Exchange Capacity وقدرته التنظيمية (BC) Buffering Capacity وغيرها من التأثيرات التي تنعكس على النشاط البيولوجي بالتربة الزراعية.

ويحتوي الدبال Humus على نسبة مرتفعة من اللجنين Lignin المواد المقاومة للتحلل الميكروبي ، وذلك نظرا لإختفاء المواد السهلة التحلل تدريجيا مما يؤدي إلى تركيز المواد الصعبة التحلل في الدبال.

ونسبة المادة العضوية في التربة لها انعكاس كبير على أعداد ونشاط الميكروبات في التربة الزراعية، وعادة فإن الأراضي الفقيرة في المواد العضوية تحتوي على أعداد قليلة من الميكروبات مقارنة مع التربة الغنية بالمادة العضوية. ولذلك فعادة ما يلاحظ وجود علاقة طردية مباشرة بين نسبة المادة العضوية وأعداد الميكروبات ما لم يكن هناك عامل يحد من نشاط وتكاثر الميكروبات بالتربة مثل الملوحة أو القلوية أو غيرها من العوامل.

ثالثا : المكون السائل Liquid component

محلول التربة Soil solution له أهمية كبيرة بالنسبة للنشاط البيولوجي حيث من المعروف أن الماء نصن نسبته إلى ٩٠% من برتوبلازم الخلايا

الحية، كما أن أحياء التربة الدقيقة يتغذى أغلبها علي مركبات ذائبة في الماء تأخذها من الوسط المحيط بها من خلال الانتشار الغشائي.

ويعتبر الماء الحر Gravitational water الذي يتحرك إلى أسفل مع الجاذبية والماء الشعري Capillary water ميسران للميكروبات. أما الماء الأسموزي Osmotic water وهو الممسوك بقوة أكبر حول الحبيبات فاقبل قابلية للاستفادة. أما الماء للهيجروسكوبي Hygroscopic water فهو غير ميسر للميكروبات.

ومن المعروف أن وجود نسبة عالية من الأملاح Salts في الماء الأرضي كما في الأرض الملحية يجعل الماء غير ميسر للميكروبات نتيجة الضغط الأسموزي العالي، ويعتبر هذا أحد العوامل الرئيسية التي تؤدي إلى قلة النشاط الميكروبي في الأرض الملحية.

رابعا : الهواء الأرضي Soil air

من المعروف أن جو التربة Soil atmosphere نشأ عن الهواء الجوي ولكن الأول يختلف كثيرا بسبب تأثيرات العمليات البيولوجية التي تحدث بالتربة. وتتكون الحالة الغازية Gaseous phase (أو هواء التربة) أساسا من ثاني أكسيد الكربون ، الأكسجين ، النيتروجين . ولكن هواء التربة يكون مشبعًا ببخار الماء ومحتوًا من CO_2 أعلى كثيرا عن الهواء الجوي ومحتوًا من O_2 يكون أقل. كما يحتوي الهواء الأرضي علي نسب من الأمونيا NH_3 والميثان CH_4 علاوة علي بعض المركبات المتطايرة. ويحدث باستمرار تبادل للغازات بين هواء الأرض والهواء الجوي. ومعدل حدوث التبادل بين الهواء الجوي وهواء التربة يتأثر بعوامل كثيرة فكلما كان قوام التربة خفيفا كلما كان معدل التبادل أسرع ، كما أن معدل التبادل يزداد في الأرض التي تتغير فيها نسبة الرطوبة باستمرار .

ويزداد معدل التبادل أيضا في المناطق التي تختلف فيها درجات الحرارة كثيرا بين الليل والنهار مما يؤدي إلى حدوث تمدد وانكماش مستمر في هواء التربة ، كما يزداد معدل التبادل في حالة وجود رياح قوية وغيرها من العوامل.

ومن المؤكد أن هناك ارتباطا وثيقا بين الماء والهواء الأرضي إذ أن مسام الأرض Soil pore spaces تملأ بالماء أو الهواء بنسب مختلفة حسب نسبة الرطوبة فيها. وفي أغلب الأراضي تمثل المسامية Pore space حوالي ٥٠% من الحجم الكلي للأرض ، وعلى ذلك فكلما زادت الرطوبة واتجهت نحو التشبع كلما قلت تهوية الأرض والعكس بالعكس. ومن المعروف أن محتوى الرطوبة في الأرض له تأثير واضح على المحتوى الميكروبي فيها ، وزيادة الرطوبة عن الدرجة الملائمة (٥٠ - ٧٠ % W.H.C) يحدث تأثيرا عكسيا حيث تقل درجة التهوية إلى حد كبير مما يكون له انعكاسا ضارا على النشاط الميكروبيولوجي في التربة الزراعية. ويتجه التوازن الميكروبي لصالح الميكروبات اللاهوائية التي تنشط سحلة المواد العضوية تحلا غير كاملا منتجة مركبات وسطية قد تكون سامة للنباتات كما تختزل أملاح النترات والكبريتات والفوسفات، وتتحول إلى صور غير صالحة لتغذية النباتات. وذلك علاوة على نمو البروتوزوا في الطبقة السطحية من التربة الغدقة وتتغذى على البكتيريا النافعة ، وتكون الأحجام التي تشغلها مكونات أحد أنواع التربة الخصبة إلى الحجم الكلي كالآتي (%) :

الجزء المعنى ٥١ ، الجزء العضوي ٩ ، المسامية ٤٠ ، أحياء التربة ١ .

وتختلف ميكروبات التربة في مدى تأثيرها بالتغيرات التي تحدث في تركيب هواء التربة ، فالبكتيريا الهوائية حتما Strict aerobes لا تنمو في غياب الأكسجين بينما الميكروبات اللاهوائية حتما Strict anaerobes لا تنمو في وجود الأكسجين. وهناك مجموعة أخرى من الميكروبات تفضل النمو في وجود

نسبة قليلة من الأكسجين وتسمى Microaerophiles أما الميكروبات الاختيارية Facultative organisms فإن تأثرها بوجود أو غياب الأكسجين يكون محدوداً.

الأحياء الدقيقة بالتربة الزراعية Soil microorganisms

تحتوي الأرض الخصبة علي أعداد كبيرة من الكائنات الحية الدقيقة (جدول رقم ١) بينها وبين بعضها صوراً مختلفة من العلاقات التعاونية، التنافسية ، التضادية وتكون أعداد الميكروبات في الأرض في تغير مستمر.

جدول رقم ١ : أعداد الكائنات الحية الدقيقة في نوع من الأراضي الزراعية الخصبة

المجموعة الميكروبية	العدد / اجم تربة
Bacteria	
Direct count	2.500.000.000
Dilution plate	10.000.000
Actinomycetes	700.000
Fungi	400.000
Algae	50.000
Protozoa	30.000

ولهذا فهو يعطي صورة ديناميكية للنشاط البيولوجي في الأراضي الزراعية، وفيما يلي موجز عن إنتشار، وأعداد، وأهمية المجموعات الميكروبية بالتربة.

البكتيريا Bacteria

تعتبر البكتيريا أكثر المجموعات الميكروبية وجوداً سواء من ناحية الأعداد أو عدد الأجناس والأنواع والنشاط ، كما تعتبر البكتيريا أكثرها أهمية في التغيرات الحيوية التي تحدث في الأراضي خصوصاً في الأراضي المتعادلة أو المائلة قليلاً للقلوية .

ومن ناحية أعداد البكتيريا في التربة الزراعية فإنها تختلف كثيراً في التربة الواحدة حسب الطريقة المستخدمة في تقدير الأعداد ، كما أن طرق أخذ العينات والأعماق التي تؤخذ منها ، بل ووقت أخذ العينة تؤثر كثيراً في التقديرات للميكروبيولوجية. ومن الوجهة الميكروبيولوجية، فإن التربة الزراعية تعتبر وسطاً غير متجانس بشكل كبير ، لذلك فإن الاختلافات الإيكولوجية في توزيع البكتيريا في التربة الزراعية تكون كبيرة جداً.

ونظراً لصعوبة الحصول على صورة متكاملة للعلاقات والأنشطة المختلفة لبكتيريا التربة ، فلقد تعددت طرق الدراسة وتنوعت لتناسب الأغراض المختلفة حيث يقاس نشاط الكائنات الحية الدقيقة بالتربة الزراعية عن طريق قياس معدل التنفس للتربة أو بتقدير مستوي المواد المحددة لنظام الأيض الميكروبي مثل ATP أو بتقدير نشاط بعض الإنزيمات الهامة مثل الفوسفاتيز والديهيدروجينز ، وعادة تشمل الطرق ما يلي :

١- دراسة النشاط البيولوجي في الأراضي بصفة عامة مثل دراسة معدل تحلل المواد العضوية ، أو دراسة معدل تنفس الميكروبات ، أو قياس النشاط الإنزيمي في الأراضي الزراعية.

٢- دراسة أعداد وأنواع ميكروبات الأراضي ، ومنها طرق ميكروسكوبية مباشرة ، وطرق مزرعية غير مباشرة ، ويمكن بالطرق المزرعية دراسة

الأعداد الكلية للمجموعات الميكروبية أو يمكن دراسة المجموعات الفسيولوجية المتخصصة Functional or physiological groups في التربة وذلك باستخدام بيانات غذائية مختلفة.

٣- طرق تعتمد علي دراسة قدرة الميكروبات علي إحداث تغييرات محدودة مثل معدل المعدنة Mineralization rate والقدرة التثبيثية للنتروجين الجوي Nitrogen fixing capacity الخ.

وتختلف أعداد وتوزيع البكتريا كثيرا في التربة الواحدة حسب الطريقة المستخدمة في التقدير , وعادة فان الطرق الميكروميكوبية تعطي أعدادا أعلى بكثير من الطرق المزرعية لأسباب كثيرة منها :

أ- الطرق الميكروميكوبية عادة لا تميز بين الميكروبات الحية والميتة مما يعطي أعدادا أكبر من الواقع. بينما الطرق المزرعية تعطي أعدادا أقل من الواقع بكثير, وذلك لجملة أسباب من أهمها انه يستحيل تحضير بيئة غذائية في المعمل تغطي كل الاحتياجات الغذائية لجميع الأنواع الموجودة في التربة. حيث أن هذه الميكروبات تختلف كثيرا في احتياجاتها الغذائية , فمنها ما يستطيع النمو علي بيئات غذائية بسيطة , ومنها ما له إحتياجات غذائية شديدة التعقيد ويصعب توفيرها في البيئة لتستطيع النمو . كما أن ظروف التحضين وظروف البيئة الغذائية لا توفر أنسب للظروف لكل الميكروبات التي تعيش في التربة , وبذلك لا ينمو في الدراسات المزرعية إلا الأنواع التي يناسبها الظروف المستخدمة في الدراسة.

ب- ومن الأسباب التي تجعل الدراسات المزرعية تعطي أعدادا أقل من الواقع أيضا إتنا نعتبر كل مستعمرة Colony ميكروبية نامية علي أطباق العد إنها ناتجة عنة نمو خلية ميكروبية واحدة . وطبعاً يكون الواقع غير

ذلك ، إذ قد تنمو المستعمرة من خلية واحدة أو سلسلة من الخلايا أو كتلة من الخلايا حسب ظروف تواجد الميكروبات بالتربة الزراعية.

لكن الطرق الميكروسكوبية عادة ما تتميز عن الطرق المزرعية في أنها تعطي صورة أكثر وضوحا لتوزيع البكتيريا في التربة وخصوصا عندما تستخدم هذه الطرق علي التربة في موضعها الطبيعي *In situ* . ولقد أوضحت مثل هذه الدراسات أن البكتيريا لا تتوزع بانتظام في كتلة التربة ، ولكنها عادة ما تتركز بأعداد كبيرة مكونة من مستعمرات حول الحبيبات الصغيرة المعدنية والعنصرية المكونة للتربة الزراعية . وأن تركيز البكتيريا يكون أكثر حول الحبيبات العنصرية عن المعدنية ، كما أنه في وجود جنور النباتات فإن البكتيريا تتركز بشدة حول الشعيرات الجذرية وسطوح الجنور . ومن الطرق الميكروسكوبية المباشرة ذات القيمة الكبيرة في دراسة توزيع بكتيريا الأراضي تحت تأثير عوامل مختلفة ، طريقة الشريحة المغمورة *Rossi-cholodny buried slide technique* وتعتمد هذه الطريقة علي دفن شرائح زجاجية نظيفة في الجزء من تربة المراد دراسته وتركها لمدد محددة ثم سحبها ودراسة المجموعات الميكروبية عليها ميكروسكوبيا . ولقد أظهرت مثل هذه الدراسات أن بكتيريا التربة يحدث فيها اختلافات موسمية واضحة . ولقد أمكن دراسة الميكروبات النشطة أو المجموعات الميكروبية التي تتكون في ظروف معينة باستخدام تعديل لطريقة الشريحة المغمورة *Buried slide* وفيه يطمس (يدفن) في التربة شرائح مغطاة بطبقة من مواد غذائية محددة ، كما أمكن أيضا دراسة توزيع ونشاط بكتيريا الأراضي بدفن قطعة من الوسط الذي تحلله الميكروبات مثل دفن قطعة من السليلوز لدراسة بكتيريا تحليل السليلوز .

أما عن أعداد البكتيريا في التربة الزراعية فلقد أظهرت الدراسات الميكروسكوبية المباشرة والتي من أهمها طريقة Cohn وتعديلاتها أن الأراضي الخصبة تحتوي على أعداد تصل إلى 10^8 /جم ، وتعتبر هذه الأعداد كبيرة جدا إذا ما قورنت بالنتائج التي تحصل عليها بالطرق المزرعية مثل طريقة العد بالأطباق Plate count method حيث يتضح أن الأعداد بطريقة الميكروسكوب تكون في المتوسط عشرة أضعاف تلك المقدرة بالأطباق بل إنها قد تصل إلى $10^6 - 10^8$ ضعف وذلك حسب الوسط الغذائي المستخدم في العد بالأطباق وظروف التربة التي يجري فيها العد .

وعادة ما يستعمل مستخلص التربة Soil extract في البينات المستخدمة في تقدير العدد الكلي للبكتيريا نظرا لما يحويه من أملاح معدنية ومواد عضوية تشجع نمو الميكروبات .

وهناك طرقا مزرعية يستخدم فيها بيانات غذائية إنتقائية Selective media وهذه تفيد في دراسة مجموعات البكتيريا المتخصصة فسيولوجيا Functional or Physiological groups . وعموما فإن أعداد البكتيريا المقدرة بطريقة الأطباق عادة ما تتراوح بين بضعة ملايين ومئات الملايين في كل جرام من الأرض الخصبة . وإن الاختلافات في الأعداد بين تربة وأخرى تمثل انعكاسا لخواص التربة والعوامل البيئية السائدة في هذه التربة . وكما سبق أن ذكرنا فإن الأعداد التي نحصل عليها بالطرق المزرعية تكون أقل بكثير من الواقع إذ قد بينت بعض الدراسات أن الطرق المزرعية لا تعطي أكثر من ١٠% من تعداد الميكروبات الموجودة بالتربة الزراعية.

وعند حساب أعداد الميكروبات في التربة فإنها تتسبب إلى التربة الجافة وذلك لتسهيل المقارنة ، ويزداد أهمية الحساب علي أساس التربة الجافة عند إجراء التقديرات في الأراضي الغدقة إذ أن أعداد الميكروبات تتضاعف عند حسابها علي أساس الوزن الجاف .

وبصرف النظر عن الطريقة المتبعة في التقدير فإن أعداد البكتيريا في التربة ليست ثابتة باستمرار ، بل تتعرض لمتغيرات واسعة . ويحكم الأعداد في التربة الواحدة عوامل كثيرة من أهمها للمحتوي الرطوبي ودرجة الحرارة ونوع النبات النامي وعمره والمعاملات المختلفة التي تتعرض لها التربة من حيث حرث وتسميد وإستصلاح وغيرها . كما أن زراعة التربة وما يتبع ذلك من عمليات زراعية مختلفة وتسميد ونمو النباتات وتحلل للجذور في التربة وإفرازات هذه الجذور وبقيائها يؤثر تأثيراً واضحاً علي أعداد البكتيريا في التربة . وبصفة عامة فإن التربة المنزرعة تحتوي علي أعداد اعلي بكثير من التربة غير المنزرعة ويوضح جدول رقم ٢ تقديراً لأعداد المجاميع الميكروبية في التربة مقرونا بتقدير للكتلة الحية من كل مجموعة ميكروبية . ومن الجدول يتضح أنه ولو أن البكتيريا تعتبر أكثر تعداداً من أي من المجموعات الميكروبية الأخرى إلا أن الكتلة الحية للفطريات أكبر منها للبكتيريا . كما يبين جدول رقم ٣ أعداد الميكروبات الممثلة للمجموعات الميكروبية الرئيسية في طبقات قطاع أرض ، ومنه نجد أن الأعداد بصفة عامة تتناقص بالعمق وربما يكون ذلك تمشياً مع التناقص في مستوي المادة العضوية بزيادة العمق .

جدول رقم ٢ : أعداد الميكروبات وكذا الكتلة الحية لكل مجموعة منها في الطبقة العليا (٠ - ١٥ سم) من أحد أنواع الأراضي الزراعية - والتقدير مأخوذة كمتوسط عن عدة مصادر.

Microbial groups المجموعات الميكروبية	عدد الكائنات / ١ جم تربة	Biomass g / m ² الكتلة الحيوية
Bacteria	9.8×10^7	160
Actinomycetes	2.0×10^6	160
Fungi	1.2×10^5	200
Algae	2.5×10^4	32
Protozoa	3.0×10^4	38
Nematodes	1.5	12
Earthworms	0.001	80

جدول رقم ٣ : أعداد الكائنات الحية الدقيقة الممثلة للمجموعات الرئيسية والمتواجدة في الطبقات المختلفة من قطاع ارضي مقدرة بطريقة الأنطبق .

Horizon	Humus	Depth Cm	Organisms / gram of soil $\times 10^3$				
			Aerobic bacteria	Actino- mycestes	Anaerobi c bacteria	fungi	algae
A1	3.00	3-8	7.800	2.080	1.950	119	25
A2	1.28	20-25	1.804	245	379	50	5
A2-B1	0.91	35-40	472	49	98	14	0.5
B1	0.37	65-75	10	0.5	1	6	0.1
B2	0.41	135-145	1	—	0.4	3	—

Bactecial groups in soil مجاميع بكتريا التربة

كانت أول محاولة لتقسيم بكتريا التربة إلى مجموعات هي تلك التي قام بها Winogradsky ١٩٢٥م علي أساس النواحي الإيكولوجية حيث قسم بكتريا التربة إلى ثلاثة مجموعات رئيسية هي :

أولاً : كائنات متوطنة Autochthonous organisms

وهذه تمثل المجموعة البكتيرية الخاصة لكل تربة أي إنها Indigenous organisms وتتميز بأن انتشارها في التربة لا يتعرض لتغيرات كثيرة وتحصل علي إحتياجاتها الغذائية من المادة العضوية الموجودة أصلا في التربة ولا تحتاج إلى مصادر خارجية .

ثانياً : كائنات مخمرة Fermentative organisms (Zymogenous)

وقد يطلق عليها Allochthonous organisms (Invaders) وهذه المجموعة تتميز بنشاطها الواسع في التغيرات البيولوجية والكيميائية التي تحدث في التربة الزراعية ، وعادة تكون أعدادها قليلة في الظروف العادية ثم تنشط بشدة عندما يضاف إلى التربة مصادر عضوية خارجية - وعلي ذلك فإن هذه المجموعة تحتاج إلى مصادر غذائية خارجية. وإضافة هذه المصادر يؤدي إلى تزايد أعدادها ثم تنخفض هذه الأعداد عند استهلاك المصادر العضوية الخارجية.

ثالثاً : كائنات منقولة Transient organisms

وهذه المجموعة تمثل الميكروبات المنقولة والتي تجد طريقها إلى التربة الزراعية من خلال التلقيح أو العدوى مثل بكتريا العقد الجذرية التي تلقح بها النباتات البقولية أو النجيلية ومثل البكتريا الممرضة للنباتات . وتنقسم

البكتريا الموجودة بالتربة أنواعا متباينة بالنسبة لمصادر الكربون والطاقة ، وكذلك فان التربة تحتوي علي مختلف المجموعات الرئيسية المعروفة ، وعلي هذا يمكن تقسيم بكتريا التربة بالنسبة لمصادر الكربون والطاقة إلى الأقسام الرئيسية التالية :

١- كائنات هتروتروفية (غير ذاتية التغذية) Heterotrophic organisms

وقد تسمى عضوية التغذية Organotrophic organisms حيث تحصل علي احتياجاتها من الكربون والطاقة من مصادر عضوية ، وتمثل هذه المجموعة أغلب الميكروبات التي تعيش في التربة وتقوم بعديد من التفاعلات الهامة في تحليل المادة أو المواد العضوية المعقدة وتحولها إلى صور بسيطة جاهزة للنباتات مثل تحليل البروتينات Proteolysis والنشدة Ammonification ومعدنة الفوسفور العضوي ، كما أنها تلعب الدور الرئيسي في تكوين الدبال Humus ، كما تنتج هذه الميكروبات أثناء تحليلها للمواد العضوية أحماضا تساعد علي إذابة كثير من العناصر المعدنية غير الذائبة في التربة وتجعلها قابلة للاستغدة بواسطة النباتات . كما أن هذه المجموعة تحتوي علي أهم أنواع البكتريا المثبتة للنيتروجين الجوي .

٢- كائنات أوتوتروفية (ذاتية التغذية) Autotrophic organisms

وقد تسمى معدنية التغذية Lithotrophic organisms وهي تحصل علي الكربون اللازم لها من CO_2 ولا تحتاج إلى مواد عضوية لنموها وتحصل علي الطاقة من أكسدة مواد كيميائية قابلة للأكسدة أو من التمثيل (البناء) الضوئي وعلي هذا فإن هذه المجموعة تنقسم إلى قسمين حسب مصدر الطاقة كما يلي :

١-٢ - كانتات كيموايثوتروفية Chemolithotrophic organisms

وهي البكتريا التي تحصل علي الطاقة من أكسدة مواد كيميائية غير عضوية وهذه الميكروبا لها أهمية في التربة فمنها:

- a) Organisms oxidizing ammonia or nitrite

Family: Nitrobacteraceae:

Gen. 1: Nitrobacter

Gen. 5: Nitrosospira

Gen. 2: Nitrospina

Nitrosococcus

Gen. 3: Nitrococcus

Nitrosolobus

Gen. 4: Nitrosomonas

- b) Organisms metabolizing sulfur

Family:

Gen. 1: Thiobacillus

Gen. 4: Macromonas

Gen. 2: Sulfolobus

Gen. 5: Thiovulum

Gen. 3: Thiobacterium

Gen. 6: Thiospira

- c) Organisms depositing iron or manganese oxides

Family: Siderocapsaceae

Gen. 1: Siderocapsa

Gen. 4: Ochrobium

Gen. 2: Naumanniella

Gen. 5: Siderococcus

٢-٢ - كانتات فوتوتروفية Phototrophic organisms

وهي البكتريا التي تحصل علي الطاقة اللازمة لها من خلال عملية البناء الضوئي ، Photosynthesis وأهميتها محدودة في الطبقة السطحية من التربة وفي وجود رطوبة عالية .

وطبقا لأخر طبعة من تقسيم البكتريات Bergey's Manual of Systematic Bacteriology والتي صدرت ١٩٩٤م فقد وضعت للبكتريا

الممثلة للضوء والذي يضم البكتريا ذات الصفات غير العادية Bacteria with unusual properties حيث وضعت في قسمين هما:

٢-١: البكتريا الممثلة للضوء غير الأكسجينية

Anoxygenic Phototrophic Bacteria

هي البكتريا الممثلة للضوء التي لا تنتج أكسجيناً عند التمثيل الضوئي وهذا القسم يضم رتبة واحدة هي Order: Rhodospirillales وهذه الرتبة تنقسم بالتالي إلى مجموعتين رئيسيتين - هما :

١- البكتريا الأرجوانية Purple Phototrophic Bacteria

حيث تضم عائلتين هما Fam: Rhodospirillaceae وهي عائلة البكتريا الأرجوانية غير الكبريتية ، وتتميز أفراد هذه العائلة بأنها تستطيع استخدام المواد العضوية أيضاً كمصادر للكربون والطاقة في غياب الضوء . أما العائلة الثانية فهي Fam: Chromatiaceae وهي عائلة البكتريا الأرجوانية الكبريتية ، وهي تستخدم مركبات الكبريت المختزنة مثل H_2S أو الثيوكبريتات أو الكبريت كمستقبل للإلكترونات في عملية البناء الضوئي. وفي حالة استخدامها للـ H_2S يترسب الكبريت الناتج عن الأكسدة داخل الخلايا حيث يتم أكسدته إلى كبريتات في مرحلة ثانية .

ب- البكتريا للفوتوتروفية للخضراء Green Phototrophic Bacteria

وهي تضم عائلتين أيضاً هما Fam: Chlorobiaceae وهي البكتريات الخضراء الكبريتية وتستخدم H_2S كمستقبل للإلكترونات في عملية التمثيل الضوئي حيث يتم ترسيب الكبريت الناتج عن الأكسدة خارج الخلايا قبل أن يتأكسد إلى كبريتات SO_4 في مرحلة ثانية . أما العائلة الثانية فهي Fam: Chloroflexaceae وهي عائلة البكتريا الخضراء غير الكبريتية ،

وهي تضم كائنات تستطيع إستخدام المواد العضوية أي إنها
فوتولورجانونوتروفية Photo-organotrophic

٢-٢-٢ : البكتريا الممثلة للضوء الأكسجينية Oxygenic Phototrophic Bacteria
وهذه هي التي كانت تسمى باسم الطحالب الخضراء المزرقة
.Blue green algae or cyanobacteria

البكتريا المحبة للملوحة :

ولقد إهتم العلماء بدراسة البكتريا المحبة للملوحة
Salt-loving Halophilic bacteria وكذا المقاومة أو المتحملة
للملوحة Halotolerant bacteria ودور هذه البكتريا في الأراضي .
وتشمل البكتريا المحبة للملوحة مجموعة من البكتريا لها القدرة علي النمو
في (أو تحتاج إلى) تراكيزات عالية من المحاليل الملحية ، وعدم توفر تلك
التراكيزات العالية من الأملاح يؤدي إلى تحلل الجدر الخارجية لهذه
الميكروبات ثم إنسياب محتوياتها الداخلية وموتها . وتشمل تلك المجموعة
من البكتريا الفئات التالية:

١) بكتريا محبة للملوحة المرتفعة Extreme halophiles: وهذه لا تنمو إلا
في محاليل ملحية ذات تركيز ٣,٥ مولر أو أكثر من ص كل (أي أكثر من
٢٠ % NaCl) .

٢) بكتريا محبة للملوحة المتوسطة Moderate halophiles: وهذه تنمو في
محاليل ملحية ذات تركيز من ص كل يتراوح بين (٠,٥-٣,٥) مولر أي
حوالي (٣-٢٠ % NaCl) .

٣) بكتريا متحملة للملوحة *Halotolerant bacteria*: وهذه لا تحتاج في نموها إلى ملح ، ولكنها تستطيع أن تنمو في محاليل ملحية تحتوي على تركيز من ص كل حتى ١٠ % أو أكثر .

وبالإضافة إلى البكتريا المحبة للملحة ، فإنه يوجد بعض الميكروبات الأخرى مثل بعض أفراد من بكتريا الكبريت والخمائر والفطريات والطحالب الخضراء التي تعيش في محاليل شديدة الملوحة.

وتتميز البكتريا التابعة لجنس *Halobacterium* بأنها ليست لها اجدار الخلوي الطبيعي المميز للبكتريا العادية ، ولكنه مكون من وحدات من البروتين. وهذه الوحدات البروتينية تظل مربطة مع بعضها طالما بقيت الخلايا في محاليل مرتفعة الاسموزية ، ولكنها تنفك إذا وضعت الخلايا في محاليل أقل من ١٠ % NaCl مما يؤدي إلى تحلل الخلايا نفسها . أما جنس *Halococcus* فإن جدره الخلوية تتكون من معقد من السكريات غير المتجانسة *Heteropolysaccharides* ، وهو يفي متجانسا حتى في التركيزات المنخفضة من الملح . كما تتميز البكتريا المحبة للملحة بأن لها نظم خاصة لإنتاج الطاقة لا توجد في الكائنات الأخرى . وهذا موضوع يناقش في مجال فسيولوجيا الميكروبات *Microbial physiology* .

وتنمو البكتريا المحبة للملحة ببطء نسبي عن الخلايا البكتيرية العادية، بمتوسط عمر جيل قدره ٧-١٥ ساعة وحرارتها المثلى حوالي ٣٧ م أو أعلى. ومن الناحية الإيكولوجية فإن البكتريا المحبة للملحة توجد في المياه المالحة كالبحيرات المالحة الكبرى في أمريكا والبحر الميت بالأردن ، وعلى شواطئ البحر حيث يحدث تركيز لمياه البحر بالتجفيف . وكذلك توجد في الأراضي الملحية *Saline soil* ، وأيضا في الأراضي شديدة

الملوحة والقلوية كما توجد في الأغذية المملحة كاللحوم والأسماك حيث تسبب فسادها وتلون أسطحها .

كما تضم التربة بكتريا كثيرة تتبع للبكتريا الزاحفة المكونة للأجسام الثمرية (البكتيريا الزاحفة) Gliding fruiting bacteria مثل أفراد رتبة Myxobacterales وكذلك رتبة Cytophagales. كما تحتوي التربة على أنواع من البكتيريا المغلفة Sheathed bacteria وهي تتميز بأن ملامل البكتيريا محاطة بأغلفة من مواد عضوية أو من أكاسيد الحديد أو المنجنيز ، ومن أجناس هذه المجموعة Sphaerotilus وتوجد في التربة أيضا أمثلة كثيرة للبكتريا التابعة لـ: Budding and / or appendaged bacteria ومنها أجناس Caulobacter ، Gallionella .. الخ .

الأكثينوميستات Actinomycetes

بالرغم من فصل هذه المجموعة في قسم مستقل عند دراستها إلا أن ذلك ليس له أساس في علم التقسيم Systematic حيث أنها تتبع البكتيريا . وطبقا لتقسيم Bergey (١٩٩٤م) فقد وضعت في المجلد الرابع الذي يضم البكتريات الموجبة لجرام الخيطية ذات الشكل المعقد G^+ filamentous bacteria of complex morphology. وهذه المجموعة الهامة من البروكاريوتات تنقسم إلى أربعة مجموعات رئيسية كما يلي :

١. البكتيريا الخيطية التي تنقسم في أكثر من مستوي واحد.
Filamentous bacteria that divide in more than one plane
٢. البكتيريا الخيطية التي تكون حافظة جرثومية حقيقية
Filamentous bacteria that form true sporangium
٣. الاستربتوميسيس والأجناس الشبيهة.

Streptomyces and similar genera

٤. البكتيريا الخيطية الأخرى غير المستقرة تقسيمياً.

Additional filamentous bacteria having uncertain taxonomy

هذه المجموعات الأربعة تختلف كثيراً في مدي وجودها وإنشارها في الأراضي الزراعية ، وبالتالي دورها في العمليات الحيوية بالتربة ، كما سيتضح فيما يلي :

أولاً : المجموعة الأولى :

وهي تضم البكتيريا الخيطية التي تتكاثر بانقسام الخيط طولياً وعرضياً مكونة كتلة من الخلايا كروية أو مكعبة الشكل وهذه تشمل ثلاثة أجناس هي :

(١) *Dermatophilus*: وليس له دور في التربة حيث أن أفراد عباره عن بكتيريا ممرضة تسبب أمراضاً جلدية للإنسان والحيوان.

(٢) *Geodermatophilus*: وهو تضم بكتيريا تعيش في التربة الزراعية.

(٣) *Frankia*: وهو من أهم الأجناس من الناحية الزراعية حيث أن أفرادهم تعتبر مثبتات تكافلية للنيتروجين الجوي مع نباتات الأشجار.

ثانياً : المجموعة الثانية :

وهي التي تكون حافظة جرثومية sporangium حقيقية والحوافظ الجرثومية محمولة علي هيفات هوائية ، والأولى تحمل بداخلها الجراثيم الإسبورانجية Sporangiospores . والأنواع التابعة لهذه المجموعة تعيش في التربة وخصوصاً الأنواع التابعة لأجناس *Actinoplanes* ، ومنها ما يكون مضادات حيوية من طراز polypeptide antibiotics ومنها ما يكون مضادات حيوية من طراز polycyclic antibiotics.

ثالثا : المجموعة الثالثة :

وتضم جنس *Streptomyces* والأجناس الشبيهة ، وهي أهم المجموعات الأربعة و أكثرها إنتشارا في الطبيعة . وأهم أجناس هذه المجموعة هو جنس *Streptomyces* وأنواعه واسعة الإنتشار في التربة وكثير من أنواعه تستطيع تحليل المواد المعقدة كما أن لها دورا هاما في عمليات المعدنية *Mineralisation* وكذلك عمليات حفظ التوازن الميكروبي في التربة من خلال القدرة العالية لعديد من أنواعه علي إفراز مضادات الحيوية .

رابعا : المجموعة الرابعة :

وهي تضم سبعة أجناس لم يستقر وضعها التقسيمي بعد . وكثير من الأنواع التابعة لهذه الأجناس تعيش في التربة وتضم أنواعا محبة للحرارة ولها دور في تحلل لكواك السمد العضوي ، كما تضم أنواعا محبة للاسموزية . هذا وقد تم فصل عدة أجناس كانت طبقا لتقسيم Bergey (١٩٧٤م) تتبع الأكتينومايسيتات ولكنها فصلت عنها ووضعت مع البكتريا العصوية الموجبة لجرام العادية *Ordinary Gram- positive bacteria* في المجلد الثاني (vol. 2) من Bergey's Manual (١٩٨٤م) وقد تم فصل هذه الأجناس أيضا في الطبعة التاسعة عام (١٩٩٤) - وهذه الأجناس هي: *Actinomyces* , *Nocardia* , *Mycobacterium* , *Pseudonocardia*

وأعداد الأكتينومايسيتات في التربة كبيرة ، وعادة ما تعد بطريقة الأطباق بإستخدام بيئة غذائية خاصة ، ولكن يجب أن نلاحظ أن المستعمرات المتكونة يمكن أن تنتج عن كونيذة أو جزء من الميسيليوم ولذلك فإن وجود ظروف في التربة تساعد علي تكوين الكونيدات يمكن أن تعطي أعدادا من

الاكتينومايسينات عالية بالرغم من أن نشاطها في التربة تحت هذه الظروف قد يكون محدودا . وعلى ذلك فإن وجودها بأعداد كبيرة قد لا يمثل مدي نشاطها الحقيقي في التربة . وقد تعطي طريقة الأطباق أعدادا تتراوح بين ١٠ - ١٠^٨ / جم ، ونسبتها للعدد الكلي تتراوح من ١٠ - ٧٠% ، وعادة ما تكون الاكتينومايسينات أقل عددا في المناطق الرطبة عن المناطق الجافة ، وأعدادها تركز أكبر في مناطق الحشائش عن الأراضي المزروعة بالمحاصيل ، وهي أكثر انتشارا في المناطق الحارة عن الباردة . ويناسبها الأراضي المعتدلة التأثير ذات الـ pH من ٦,٥ - ٨ ونقل أعدادها بدرجة كبيرة في الأراضي الحامضية ذات الـ pH أقل من ٥,٥.

ومن المعروف أن الاكتينومايسينات تكون أبطأ في نموها من البكتيريا . وهذه الظاهرة لها أهميتها ، ففي حالة توافر ظروف ملائمة للنشاط الميكروبي في التربة مثل إضافة مواد عضوية بها مواد سهلة التحلل يظهر التنافس بين ميكروبات التربة بوضوح ونظرا لبطأ نمو هذه المجموعة فإن قدرتها علي التنافس تكون محدودة ، لذلك تقل في أعدادها في الفترات الأولى للتحلل . ومع نقص المواد سهلة التحلل من المادة العضوية المضافة تبدأ أعدادها في الزيادة وتصبح هي السائدة حيث تستفيد من قدرتها علي تحليل المواد المعقدة ، وعموما فإن الاكتينومايسينات تستطيع استخدام مواد عديدة كمصادر للكربون والطاقة ومنها مركبات بسيطة ومركبات شديدة التعقيد . ويعتبر تحليل الكيتين (chitin) صفة مميزة لمجموعة الاكتينومايسينات حيث أن الغالبية من محلاته تتبع جنس *Streptomyces* . كما تستطيع الاكتينومايسينات تحليل مواد كثيرة غريبة التركيب مثل pesticides ، paraffins ، steroids ، phenols .

الفطريات Fungi

مع أن البكتيريا أكثر الكائنات الحية عدداً في التربة الزراعية ، إلا أنه نظراً لصغر حجم الخلية التي نادراً ما تزيد عن ٥ ميكرون في الطول ، وكبر حجم هيفات الفطريات ، فإنه في التربة جيدة التهوية المنزرعة قد تمثل الفطريات جزءاً أكبر من الوزن الكلي للبروتوبلازم الميكروبي (راجع جدول رقم ٢) وهذا يظهر بوضوح في تربة الغابات مثلاً عندما يكون ميسيليوم الفطريات شبكة تتخلل التربة والمواد المتحللة ، وعموماً فإن الفطريات تسود الأراضي الزراعية الحامضية للتأثير.

ويوجد ميسيليوم الفطريات في التربة على شكل شبكة من الخيوط تتخلل حبيبات التربة وترتبط الحبيبات مع بعضها ويظهر هذا بوضوح عند استخدام تكتيك الشريحة المغمورة Buried slide technique ولقد أوضحت الدراسات أن التربة الخصبة قد تحتوي على ما بين ١٠-١٠٠ متر من خيوط الفطر لكل اجم مما يفيد أن (٢٠٠-٢٠٠٠) كيلو جرام كتلة خلوية Biomass توجد بالفدان الواحد (الفدان = ٤٢٠٠ م^٢) (راجع جدول رقم ٢) .

وليس هناك طريقة واحدة لدراسة فطريات التربة يمكن أن تعطي صورة دقيقة لمدي انتشارها و نشاطها ، و من بين الطرق المستخدمة لتقدير فطريات التربة ، طريقة العد بالأطباق Plate counting method بإستخدام بيانات خاصة . ولو أن من عيوب طريقة العد لفطريات التربة بالأطباق أن المستعمرات Colonies التي تظهر على الأطباق قد تنتج من جرثومة ساكنة أو جزء من الميسيليوم ، وعلى ذلك فإن وجود أنواع من الفطريات السريعة في تكوين الجراثيم في التربة ينتج عنه أعدادا كبيرة عند العد بالأطباق ، بينما في تربة أخرى قد يكون النشاط الفطري فيها عالياً جداً . ولكن الأنواع

الموجودة لا تكون جراثيما فهذه تعطي أعدادا أقل كما يلاحظ أن أطباق العد تظهر فيها بكثرة الفطريات ذات القدرة علي تكوين الجراثيم مثل *Aspergillus* ، *Penicillium* ، بينما لا يظهر كثير من الفطريات غير القادرة علي تكوين جراثيم بكثرة في الأطباق وعموما فإن أعداد الفطريات المقدره بطريقة الأطباق تتراوح بين ٢٠,٠٠٠-١,٠٠٠,٠٠٠/١ جم .

ويلاحظ أن نشاط وانتشار الفطريات في للتربة يتأثر بعوامل كثيرة - فالفطريات كائنات هتروثروفية Heterotrophic microorganisms ، لذلك فإن أعدادها يتحكم فيها لحد كبير وجود مادة عضوية قابلة للأكسدة كمصدر للطاقة لهذه الميكروبات . لذلك فعاده ما توجد علاقة طردية بين أعدادها و نسبة الدبال humus في للتربة . وإضافة مادة عضوية للتربة لا يؤثر فقط في أعدادها ولكن يؤثر أيضا في الأنواع السائدة .

ومن أهم العوامل المؤثرة علي فطريات التربة درجة الحموضة (pH) ، فمن المعروف أن كثير من فطريات التربة يمكنها أن تنمو في في مدى واسع من الـ pH ولكن نظرا لأن البكتريا والأكثينوميستات تكون أقل انتشارا في الأراضي الحامضية فإن للفطريات تسود في هذه الأراضي . وهذه السيادة لا ترجع فقط إلى أن الظروف الحامضية ملائمة أكثر للفطريات ولكن أيضا لعدم وجود تنافس بين الفطريات والأحياء الأخرى . وتؤثر رطوبة التربة أيضا علي مدى انتشار الفطريات حيث وجد أن إضافة المياه للأراضي الجافة تزيد من نمو الفطريات ، ومن ناحية أخرى فإن الرطوبة العالية تؤثر علي نمو الفطريات لما لها من تأثير عكسي علي التهوية خصوصا وأن الفطريات في الغالب الأعم تكون هوائية ، فالفطريات تكون قليلة في الأراضي الغدقة بيئة التهوية.

ولقد ثبت أن أغلب الفطريات تكون محبة لدرجة الحرارة المتوسطة أي إنها Mesophilic microorganisms ، ولو أن هناك بعض السلالات المحبة للحرارة المرتفعة Thermophiles تسود في أكوام السماد المتحللة مع ارتفاع درجة الحرارة والتي تلعب دوراً هاماً في نضج السماد .

وتسود الفطريات من صفوف Ascomycetae ، Phycomycetae ، Deuteromycetae في الأراضي . وبينما تكون الفطريات الناقصة أوسع فطريات التربة انتشاراً نجد أن الفطريات الطحلبية (زيجية وبيضيه) أقلها انتشاراً وإن كان هناك أنواعاً من الأخيرة تتبع رتبة Mucorales واسعة الانتشار في الأراضي . ومن أجناس الفطريات واسعة الانتشار في مختلف الأراضي نجد ما يلي *Alternaria* ، *Botrytis* ، *Rhizopus* ، *Aspergillus* ، *Fusarium* ، *Cladosporium* .

أما بالنسبة لدور الفطريات في الأراضي فمن المعروف أن الفطريات كائنات هتروتروفية هوائية وتستخدم عديد من المواد العضوية كمصدر للكربون والطاقة مثل السكريات الأحادية والثنائية المعقدة والأحماض العضوية والنشا والبكتين والسليلوز والدهون واللجنين . وبعض هذه المواد لا تستطيع البكتيريا تحليلها ، كما تستخدم كثيراً من المواد النيتروجينية البسيطة والمعقدة كمصادر للنيتروجين . وعلى ذلك ، فالقطريات تلعب دوراً هاماً في تحليل السليلوز والهيمسليولوز والبكتين في الأراضي ، كما يمكن أن تلعب دوراً في معدنة النيتروجين العضوي ، ولها دوراً أساسياً في تكوين الدبال في الأراضي . كما أن فطريات التربة المرضية Soil borne pathogenic fungi لها أهمية خاصة من ناحية أمراض النبات وكثير من هذه الفطريات

تعيش في التربة مترمة وعندما تجد الظروف الملائمة تغزو العائل وتسبب المرض .

فطريات الميكوريزا Mycorrhizae

بدأ التعرف علي الجذور الفطرية المسماة (Mycorrhizae) fungous roots (sing.mycorrhiza) في بداية الستينات من القرن العشرين ، حيث رجحت جراثيمها مع نيماتودا مفصولة من تربة زراعية ، ومن وقتها بدأ الاهتمام بها . وهي تمثل حالة تعاون فريدة بين الفطريات وجذور بعض النباتات الراقية ، حيث تقوم هذه الفطريات بعمل الشعيرات الجذرية علي جذور نبات العائل حيث تساعد النبات علي إمتصاص الماء والغذاء والأملاح المعدنية مثل الفوسفور والكالسيوم والبوتاسيوم والنحاس والحديد . وبذلك فإن الجذور الفطرية تلعب دورا هاما في حياة بعض النباتات خاصة لأشجار الغابات التي تعتمد علي هذه الفطريات في التغذية Mycotrophy حيث لوحظ ضعف تلك الأشجار النامية عند غياب هذه الفطريات . كما لوحظ ضعف شتلات أشجار الموالح النامية في أراضي المشاتل المعاملة بالمبيدات الفطرية، وهذا يشجع البعض علي تلقيح التربة بالجذور الفطرية كما يحدث عند تلقيح ارض الموالح بفطريات من جنس *Endogone*.

ولقد تبين أن فطريات الميكوريزا فطريات محدودة الموطن إذ توجد فقط حول جذور عوائلها وتعيش معها في حالة تعاون ، وتأخذ الفطريات إحتياجاتها الغذائية المعقدة من الأحماض الأمينية والفيتامينات من النبات العائل . وبسبب تلك الإحتياجات الغذائية المعقدة فإنه لم تنتج زراعة بعضها في بيئات صناعية حتى الآن حيث إنها تعتبر *Obligat symbiont*.

ولقد لوحظ أن فطريات الميكوريزا تكثر حول جذور النباتات في الأراضي الفقيرة في الفوسفور والنيتروجين ، كما إنها تكثر عندما تحتوي جذور العائل علي نسبة عالية من الكربوهيدرات الميسرة بزيادة نشاطه في التمثيل الضوئي . وهذا يوضح أن النبات العائل يمد الفطر بالكربوهيدرات اللازمة بتمثيله وذلك بالإضافة إلى مستلزماته الغذائية الأخرى من الأحماض الأمينية والفيتامينات . وتزيد فطريات الميكوريزا من صلاحية الفوسفور للنبات بما تفرزه من إنزيمات للفوسفاتيز أو بتشجيعها لجذور العائل لإفراز الأحماض ، كـ H^+ التي تزيد من ذوبان الفوسفات ، وكذلك بما تفرزه للنبات العائل من مواد مشجعة للنمو Growth promoting substances .

وتحدث عدوي جذور البادرات من الأشجار بالهيفات ، من النباتات المجاورة أو الجراثيم الموجودة بالتربة أو بتلقيح التربة أو بزراعة شتلات سبق تلقيح أرض مشتلها بالنظر المطلوب - علماً بأنه يوجد درجة من التخصص بين الفطر والنبات العائل .

ومن الطرق الشائعة في تلقيح التربة بالميكوريزا ، تلقيح أرض المشاتل المهيأة لزراعة العائل بترية بها الفطريات المطلوبة للعائل بمعدل ١٠% من حجم تربة المشتل ، وتخلط بالطبقة السطحية لعمق ١٠ سم وذلك قبل زراعة بنور العائل . بعد نمو الشتلات تنقل بمجموعها الجذري وما يحيط به من تربة إلى المكان المستديم ، وبذلك يتهيأ وسطاً مناسباً لنمو فطريات الميكوريزا وفي مثل هذه الحالات فإنه يفضل معاملة تربة المشتل بمبيدات الآفات المناسبة للتخلص من الكائنات الضارة وتجنب نقل تلك الآفات إلى الحقل المستديم . ويمكن مشاهدة الميكوريزا عند اخراج نباتات العائل بصلاياها من أرض المشتل ، فيلاحظ أن الجذور النامية حول الصلايا تكون محاطة بطبقة قطنية لونها أصفر يتراوح من الفاتح إلى الغامق حسب نوع الميكوريزا الموجودة.

وتبدأ الإصابة عندما يكون عمر النبات عدة أسابيع عندما يتفتح أوراقه الأولى ويزداد نشاطه التمثيلي . وتمتد هيفات الفطر من جذور العائل فيما يشبه الشعيرات الجذرية ، كما تمتد هيفات الفطر إلى داخل الجذور نفسها ، وتمتاز فطريات الميكوريز عن الفطريات الأخرى النافعة والضارة التي تصيب النباتات ، في أن جزءا من ميسيليوم الميكوريزا يبقى نشطا بالتربة بعد العدوى وفي حالة المعيشة التعاونية لفطريات الميكوريزا فإنه يمكن تمييز جزئين مختلفين فسيولوجيا من الفطر - فالجزء الممتد خارج جذور العائل يقوم بعمل الشعيرات الجذرية من حيث امتصاص الماء والمواد المعدنية ، بينما يقوم الجزء من الفطر - الممتد داخل جذر العائل بتبادل المواد الغذائية .

تأثير الميكوريزا على جذور العائل:

تسبب المعيشة التعاونية بين الفطر وجذور النبات تغيرات ميكروسكوبية و سورفولوجية وتشريحية في جذور العائل، وتكون تلك التغيرات أوضح ما يمكن في حالة الـ *Ectotrophic mycorrhizae* حيث يتكون طبقات جديدة. أما في حالة الميكوريزا الداخلية *Endotrophic mycorrhizae* فقد تسبب بالجذور زيادة طفيفة في سمك طبقة القشرة *Cortex* وزيادة في نقرع الشعيرات الجذرية الدقيقة مع تغير طفيف في اللون إلى اصفر مخضر لإفراز تلك الفطريات لصبغات خاصة. والجراثيم التي يكونها الفطر ذات حجم كبير نسبيا. في حجم رأس السدوس، يمكن فصلها من التربة بغزابل ذات سعة تقوب مناسبة ويمكن أن تحتفظ بحيويتها لمدة شهر على درجة ٤-٥ م، وتتميز هيفات الفطر بالصيغ بأزرق المثلين، أما الخلايا الخاصة بجذر العائل المصاب فتظهر بلون اصفر مخضر عن

خلايا الجذر غير المصاب كما في حالة الذرة Corn، نتيجة الصبغات التي يفرزها الفطر.

تقسيم فطريات الميكوريزا Taxonomy of Mycorrhizal Fungi

أغلب فطريات الميكوريزا تتبع صف Basidiomycetae المنتجة لعيش الغراب Mushrooms أو الكرات النافحة Puffballs، ومنها ما يتبع صف Ascomycetae ومنها الترافل Truffles، أو صف Zygomycetae، وهذه الفطريات جميعها تتكاثر بالجراثيم الجنسية واللاجنسية. كما أن هناك البعض الذي يتبع الفطريات الناقصة Deuteromycetae. ونقسم فطريات الميكوريزا إلى مجموعتين أساسيتين وذلك من حيث طبيعة المعيشة التعاونية مع العائل وكيفية التغذية والخواص الفسيولوجية كما يلي:

١. فطريات تعيش بين الخلايا:

وهذه تسمى Ectotrophic mycorrhizae أو Sheathing mycorrhizae أي Ectophytes وهذه المجموعة من فطريات الميكوريزا تكون غلاف mantle حول جذور العائل بطبقة سمكها ٢٠-٤٠ ميكرون كما تمتد الهيفات وتتمو خلال المسافات التي بين الخلايا في منطقة القشرة أي تكون intercellular growth. وتوجد هذه المجموعة من الفطريات في جذور كثير من الأشجار بالغابات ومنها أنواعا اقتصادية كشجر الصنوبر، ومن أجناس الميكوريزا التي تتبع هذه المجموعة: *Boletus*, *Crinarius*, *Suillus*, *Leccinum*, *Amanita*, *Tricholoma*, *Laccaria*, *Lactarius*. وهذه تتبع إلى Hymenomycetes من صف Basidiomycetae. ولقد ثبت أن الفطريات البازيدية من مجموعة Gasteromycetes تضم الأمثلة التالية أيضا *Rhizopogon*, *Pisolithus*, *Scleroderma* ولقد قدر أن أكثر من ٢١٠٠ (٣١).

نوعاً من هذه الفطريات يمكنها معايشة أشجار الغابات في صورة جذور فطرية خارجية Ectomycorrhizae كما وجد في مناطق شمال أمريكا . وثبت أن هناك ثلاثة رتب فطرية تتبع الأسكيات (Ascomycetae) لها خاصية الجذر فطري الخارجي Ectomycorrhiza وهي رتب Eurotiales (Cenococcum)، Tuberales (truffles) رتبة Pezizales وأيضاً جنس Elaphomyces وهو عبارة عن hypogear plectomycetes .

٢. فطريات تعيش داخل الخلايا :

وهذه تسمى Endotrophic mycorrhizae أو Endophytes وهي عبارة عن Vesicular Arbuscular Mycorrhizae (VAM). وهذه الفطريات تخترق جذر العائل وتنخل إلى داخل الخلايا وتتكاثر أي إنها تكون Intracellular growth مع وجود بعضها خارج الجذر سن في التربة . وهذه المعيشة توجد مع جنور النباتات التابعة لعائلات Orchidaceae و Rosaceae. كما توجد في أشجار الفواكه والموايح وشجر النين وكثير من النجيليات والبقوليات والسرسيات .

واهم ما يميز فطريات الـ VAM في جذور العائل هو وجود التفرع الشجري الشكل Arbuscules والأوعية Vesicles ومن هنا جاء الاسم Vesicular Arbuscular Mycorrhizae . وقد تكون الأوعية ببيضاوية الشكل وأحياناً تكون مستديرة أو ذات فصوص ، وتوجد بين خلايا القشرة أو بداخلها ، وهي متصلة ببيانات الفطر ، وتعمل الأوعية كأعضاء تخزين ، وفي جذور الخلايا المسنة تتحول إلى جراثيم ساكنة Resting spores تخرج إلى التربة عند تحلل الحذور . ويقوم التفرع الشجري بعملية تبادل المواد الغذائية بين كل من الفطر والعائل الكربونيدات والأحماض الأمينية من

النبات للفطر - والفوسفات والعناصر المعدنية من الفطر للنبات وهي توجد بالقشرة وتتكون بعد عدة أيام من غزو الفطر لجدار العائل ، وتتحلل بعد أسبوعين أو ثلاثة ليتكون بدلا منها . وتعمل هيفات الفطر المتصلة بجذر النبات العائل والممتدة بالتربة بعيدا عن الجذور ، كشبكة إضافية من الشعيرات الجذرية تنقل العناصر الغذائية من التربة إلى التفرعات الشجيرية للفطر داخل قشرة جذر العائل ، ومنها إلى أجزاء النبات المختلفة .

والأنواع المتجذرة التي لها القدرة علي تكوين VAM تقع تحت

عائلة Endogonaceae من رتبة Mucorales من Class : Zygomycetae

وأهم أجناسها: *Endogone*, *Gigaspora*, *Sclerocystis*, *Glomus*.

Acaulospora

Characteristics of genera in Endogonaceae (order: Endogonales)

Endogone: zygospores in sporocarps

Gigaspora: zygospores borne singly in the soil

Acaulospora: zygospores borne singly in soil

Glomus: Chlamydospores in sporocarps

Sclerocystis: Chlamydospores in sporocarps

ويمكن التمييز بين الأجناس بواسطة الخصائص التالية :

- 1) Sporocarp: presence, form, dimensions, colour of surface, peridium.
- 2) Spores: shape, dimensions, surface, ornamentation, wall(s). (Number, colour, thickness).
- 3) Sporogenous hypha (e): Number, form, colour, thickness.

ولقد إتضح أن فطريات الـ VAM واسعة الانتشار إذا ما قورنت بفطريات الـ Ectomycorrhizae ، فهي توجد في أراضي تحت ظروف مناخية متعددة من الاستوائية إلى المعتدلة إلى المناطق القطبية ، وإن كانت تتأثر بنوع التربة والنبات القائم والظروف البيئية. وهذه الفطريات تعيش بالإشتراك مع جذر النبات ، ولم يمكن زراعتها في غياب جذر النبات العائل، كما لم يمكن حتى الآن عزلها علي أطباق الأجار بالطرق الميكروبيولوجية المعتادة . وهي تلعب دورا هاما في تيسير الفوسفات وتحول إلى صورة صالحة لإمتصاص النبات علاوة علي أن درجة الحرارة المرتفعة نسبيا تزيد من نشاط الفطريات بهذه الأراضي عن أراضي المناطق المعتدلة الحرارة أو الباردة .

وعلاوة علي أن فطريات الـ VAM تزيد من إمتصاص النبات للفوسفات ، فإنها تزيد من إمتصاصه للزنك كما لوحظ في نباتات القمح والذرة والبطاطس والخبث في أراضي فقيرة في عنصر الزنك . كذلك فإن فطريات الـ VAM تزيد من إمتصاص النبات لبعض العناصر الأخرى مثل البوتاسيوم والنحاس والكبريت وبعض العناصر الثقيلة Heavy metals

إضافة إلى ما سبق فإن فطريات الـ VAM تتعايش مع جنور معظم نباتات مغطاة للبذور Angiospermae خاصة البقوليات والنجليات ، كما توجد في جذور بعض معراة البذور Gymnospermae والسرخسيات والحزازيات ، ولا تخلو منها إلا جذور بعض نباتات قليلة تتبع عائلات Pinaceae, Fegaceae, Betulaceae التي تتعايش مع فطريات الـ Ectomycorrhizae

ومن المهم التوسع في دراسة فطريات الميكروهيزا تحت الظروف المحلية لكل منطقة خاصة ما يتعلق منها بالأنواع التي تعيش داخل الخلايا

(Endophytes) وهي الأنواع التي تصيب غالبا المحاصيل البستانية والحقلية كما سبق الإشارة . وهي تكون جراثيم كلاميدية كبيرة مميزة توجد داخل الأنسجة ، ويمكن صبغ تلك الجراثيم بصبغة أزرق الميثيلين ، ولو أمكن تنمية تلك الأنواع من الفطريات في جذور النباتات البقولية المثبتة للتيروجين فإن الفائدة الناتجة ستكون مزودة من حيث تثبيت نيتروجين وإنتاج النبات بما يلزمه من الفوسفور وذلك بواسطة الميكروبات .

الخمائر Yeast

هي مجموعة من الفطريات وحيدة الخلية ، ويوجد بها أنواع متعددة من طرز التكاثر، وتصنف الخمائر في ٣٩ جنسا علي النحو التالي:

أولاً: Class: Ascomycetae يحوي ٢٢ جنسا من الخميرة .

ثانياً: Class: Basidiomycetae يحوي ٥ أجناس من الخميرة.

ثالثاً: Class: Deuteromycetae يحوي ١٢ جنسا من الخميرة.

ولقد ثبت تولد الخمائر في معظم الأراضي ، فهي موجودة في أراضي المراعي والغابات والحقول المنزرعة وجول جذور بعض النباتات ، غير أن درجة انتشارها ليست بالدرجة التي توجد عليها للبكتريا ، وهي توجد بأعداد تتراوح ما بين ٢٠٠ إلى ١٠٠,٠٠٠ حسب الظروف البيئية المحيطة بها.

ومن أكثر الأجناس التي عزلت من الأراضي أنواع غير متجذرة مثل

أفراد الأجناس التالية: *Candida*, *Cryptococcus*, *Rhodotorula*.

Torulopsis . ومن الأنواع المكونة لجراثيم أسكية عزلت من التربة أفرادا

من الأجناس التالية : *Sccharomyces*, *Debaryomyces*, *Hansenula*.

Lipomyces, *Pichia*

ومما يذكر أن خميرة *Lipomyces Starkeyi* تتحمل الحموضة ويكثر وجودها في الأراضي الإستوائية ، وهي نفس الظروف التي تتواجد تحتها البكتريا المثبتة للنيتروجين الجوي من أجناس *Beijerinckia*, *Derxia* . ويعتقد أن الخميرة تعيش مع هذه البكتريا معيشة تعاونية حيث تفرز الخميرة مواداً مشجعة لنمو البكتريا مما يزيد من كفاءتها في تثبيت النيتروجين الجوي.

تقسيم الخمائر : يمكن تقسيم الخمائر التسعة والثلاثون جنساً من الخمائر علي النحو التالي :

1. Ascospore – forming yeast :

Kingdom: Plantae

Class: Ascomycetae

(22) *

Order: Endomycetales

Family1: Saccharomycetaceae

Sub family1: Schizosaccharomycoidae

2: Lipomycetoideae

3: Nadsonioideae

4: Saccharomycoidae

Genus1: Schizosaccharomyces (4) +

2: Lipomyces (2)

3: Nadsonia (2)

Hanseniaspora (3)

Saccharomyces (1)

Wickerhamia (1) -

4: Saccharomyces (41)

Pichia (35)

* indicates number of genera ;+ indicates number of species

<u>Hansenula</u>	(25)
<u>Kluyveromyces</u>	(18)
<u>Debaryomyces</u>	(18)
<u>Scharonniomyces</u>	(4)
<u>Dekkera</u>	(2)
<u>Citeromyces</u>	(1)
<u>Lodderomyces</u>	(1)
<u>Pachysolen</u>	(1)
<u>Saccharomycopsis</u>	(1)
<u>Wingea</u>	(1)

Family2: Sperophthoraceae

Genus1: <u>Metschnikowia</u>	(5)+
2: <u>Nematospora</u>	(1)
3: <u>Coccidiascus</u>	(1)

Family3: Endomycetaceae

Genus1: <u>Endomycopsis</u>	(10)+
-----------------------------	-------

II. Ballistosporogenous yeasts (3)*

Class: Basidiomycetae (5)*

Family: Sporobolomycetaceae

Genus1: <u>Sporidiobolus</u>
2: <u>Sporobolomyces</u>
3: <u>Bullera</u>
4: <u>Rhodosporidium</u>
5: <u>Leucosporidium</u>

III. Asporogenous yeast

Class: Deuteromycetae (12)*

Order: Moniliales

Family: Cryptococcaceae

Genus1: <u>Candida</u>	(81) +
2: <u>Torulopsis</u>	(36)
3: <u>Cryptococcus</u>	(17)
4: <u>Rhodotorula</u>	(9)
5: <u>Trichosporon</u>	(8)
6: <u>Brettonomyces</u>	(7)
7: <u>Kloeckera</u>	(4)
8: <u>Pityrosporum</u>	(3)
9: <u>Oosporidium</u>	(1)
10: <u>Schizoblastosporion</u>	(1)
11: <u>Sterigmatomyces</u>	(1)
12: <u>Trigonopsis</u>	(1)

ولقد وجد ان نسب البيئات لعزل الخمائر من الأراضي الزراعية ما يلي :

- 1) Hertz and levine's medium
- 2) Modified warcup's medium
- 3) Czapek-Dox medium
- 4) Davis's yeast salt agar

حيث وجد ان هذه البيئات سهلت عزل الأنواع المختلفة من الخمائر ،
وذلك لزيادة اعداد مجاميع الخميرة النامية علي الأطباق وكبير حجم
مستعمراتها، وأيضا لنحد من ظهور الميكروبات الأخرى غير المرغوب فيها
من البكتريا والفطريات ، وعلي سبيل المثال فان البيئة الأولى تحتوي علي
جميع المكونات الكافية لنمو الخميرة والعوامل المساعدة للنمو (في مستخلص

المولت) مع وجود مادة الـ: Diphenyl كمثبط للفطر ، pH قدره ٤,٥ غير للملائم لنمو البكتريا أما البيئة الرابعة فتستخدم في عزل وإحصاء الخمائر والفطريات Moulds حيث أنها تتيح نموها عليها معا .

الطحالب Algae

توجد الطحالب في كل أنواع الأراضي وإن كانت أعدادها أقل من البكتريا والفطريات والاكيتونومايستات وتتميز الطحالب بإحتوائها علي الكلوروفيل ، وعلي ذلك فهي كائنات لوثرورفية تقوم بعملية البناء الضوئي ومنها تحصل علي الطاقة اللازمة لها. وإذا نمت الطحالب في أعماق التربة بعيدا عن الضوء فإنها تبقى ساكنة لفترة محدود وإن كان هناك أنواعا من الطحالب تكون إختيارية في تغذيتها أي إنها في غياب الضوء تتغذى علي مصادر كربون عضوية . وعموما فإن إنتشار الطحالب يكون محدودا في الطبقة السطحية من التربة في وجود رطوبة عالية وتكثر علي سطح الأراضي الغدقة ، ويمكن تقدير أعداد الطحالب في التربة بإستخدام طريقة العد الإحتمالي (MPN) Most Probable Number وذلك من خلال بيئة خالية من مصدر الكربون وتحتوي علي العناصر المعدنية اللازمة لنمو الطحالب في الضوء لمدة ٤-٦ أسابيع.

ولقد أظهرت الدراسات أن أعداد الطحالب في الطبقة السطحية من التربة تتراوح بين ١٠٠ - ٥٠٠,٠٠٠/جم ، ولكن طرق تقدير الطحالب في التربة لها قيمة محدودة وذلك لأن الأنواع الخيطية تعطي أعدادا قليلة عند العد بينما تعطي الأنواع وحيدة الخلية أعدادا كبيرة . ومن الناحية المورفولوجية فإن الطحالب التي توجد بالأراضي تكون إما وحيدة الخلية أو

ذات سلاسل قصيرة ، وهي عموماً لصفر وأبسط تركيباً من الأنواع المائية .
وتحتوي الأراضي الزراعية علي مجموعات الطحالب الرئيسية التالية :

١. طحالب خضراء Chlorophyceae
٢. طحالب خضراء مزرقّة (Cyanophyceae) Cyanobacteri أو
(Myxophyceae)
٣. اللدياتومات Bacillariophyceae
٤. طحالب خضراء مصفرة Xanthophyceae

ولقد وجد أن الطحالب الخضراء واللدياتومات تسود علي باقي أنواع الطحالب الأخرى بأراضي المناطق المعتدلة ، بينما تسود الطحالب الخضراء المزرقّة في أراضي المناطق الحارة ، وتوجد الطحالب الخضراء في الأراضي غالباً علي صورة كائنات وحيدة الخلية أو خيطيه بسيطة التركيب ، وبوجه عام فإن الأنواع المنتشرة في الأراضي تكون أبسط تركيباً من تلك الأنواع المنتشرة في الأوساط المائية وعموماً فإن الطحالب الخضراء تسود الأنواع الأخرى من الطحالب في أراضي المناطق المعتدلة وفي الأراضي الحامضية ومن أهم أجناسها الموجودة بالأراضي هي *Chlamydomonas*, *Scenedesmus*, *Ulothrix* *Chlorococcus*, *Chlorella*.

أما اللدياتومات (Bacillariophyceae) Diatoms فهي توجد بالأراضي ككائنات وحيدة الخلية أو مستعمرات وتتواجد بأراضي المناطق المعتدلة التأثير (pH) أو القلوية ومن أكثر أجناسها تواجداً بالأراضي هي *Cymbella*, *Surirella*, *Navicula*. أما الطحالب الخضراء المصفرة Xanthophyceae فهي تعتبر نسبياً لقل أنواع الطحالب تواجداً بالأراضي ،

ومن أهم أجناسها التي توجد بالتربة: *Heterococcus*, *Heterothrix*, *Botrydiopsis*

ونمثر الطحالب الخضراء المزرقّة (Blue greens) أكبر وأكثر المجموعات إنتشاراً للبروكاريوتات للمثلة للضوء وقد ينظر إليها على أنها حلقة إتصال بين البكتريا والنباتات الخضراء . ويوجد من هذه المجموعة أكثر من ٢٠٠٠ نوع منها وحيد الخلية المجهرى أو ما يوجد فى خيوط ، وعندما تنمو فى تجمعات كبيرة Mass growth فإنها تغطي الوسط المائى النامية به مثل البحيرات لونا مميزا لامعا ، وكثيرا منها يعتبر غذاءا للبلانكتون أو تستعمل كسماد ، ومنها ما يثبت التيتروجين أجوي بالتربة . والطحالب الخضراء المزرقّة تكون أكبر حجما من البكتريا ، وهي هوائية ، وإن كانت تستطيع أن تعيش فى ظروف لاهوائية ، وأغلب أنواع الطحالب يكون خيطيا ومنها المتفرع مثل *Tolypothrix*, *Culothrix* ومنها غير المتفرع مثل *Oscillatoria*, *Nostoc* وبعضها يوجد كخلايا وحيدة أو فى مستعمرات ، ومن الأنواع وحيدة الخلية الأجناس: *Anacystis*, *Chroococcus*, *Gloeocapsa* . وتتكاثر الطحالب الخضراء المزرقّة بعدة طرق منها التجزئة Fragmentation ، الانقسام الثنائى البسيط مثل البكتريا Binary fussion أو تكوين وحدات تكاثرية لاجنسية ومنها الآتى :

أ. الهورموجونات Hormogonia (مفردها هرموجونة Hormogonium) وهي أجزاء صغيرة من الخيط ذات نهايات مستديرة ، متحركة ، وهي توجد فى الأجناس التابعة لرتبة Nostocales.

ب. أكينيتات Akinetes (مفردها أكينيتة Akinete) وهي عبارة عن جرثومة غير متحركة ، كل جرثومة تتشأ من خلية كبيرة ذات جدر سميكة تنشأ

عن بعض خلايا الهورموجونة وتكون غنية بمحتواها الغذائي وذات جدر أكثر تغطا من الخلايا الأخرى وهي جراثيم ساكنة Resting spore مقاومة للظروف البيئية غير الملائمة . تنبت هذه الجراثيم عند تحسن الظروف وتكون خيوطا خضرية وهي توجد في الأجناس التابعة لعائلة Nostocaceae.

د. جراثيم داخلية Endospores في بعض الأجناس تتكون الجراثيم من إنقسام بروتوبلاست خلية خضرية مكونة عديد من الجراثيم الداخلية Endospores الصغيرة الحجم . وتتميز هذه الجراثيم الداخلية عن الجراثيم الساكنة (الأكينيتات) بأن جدار الجرثومة في انحالة الأولي لا يندمج مع جدار الخلية للخضرية الأم .

أما التناسل الجنسي Sexual reproduction فعلى الأرجح يكون غير معروفا في شعبة الطحالب الخضراء المزرقمة إذ لم يثبت وجود أمشاج Gametes، وجراثيم متحركة Notile spores، زيجوتات Zygotes أو أية علامة على حدوث التزاوج Conjugation للمفصلي إلى التناسل الجنسي ، وإن كان هناك آراء تزعم حدوث تزاوج على غرار الآراء التي تشير لذلك في بعض البكتيريا.

ويمكن القول بأن بعض الطحالب تلعب دورا هاما في خصوبة التربة إذ أن بعضها يثبت النيتروجين الجوي ، وفي كثير من البلاد يجري إستغلال الطحالب الخضراء المزرقمة للعمل على زيادة المحتوى النيتروجيني للتربة المعدة لزراعة الأرز ، حيث تلقح التربة بمثل هذه الطحالب المثبتة للنيتروجين الجوي ومن هذه الطحالب أجناس: Nostoc , Calothrix ,

Anabaena

البروتوزوا Protozoa

البروتوزوا أو الحيوانات الأولية Protozoans عبارة عن حيوانات وحيدة الخلية ، مجهرية غالبا باستثناء القليل منها ، وعادة ما يميل علماء الحيوان إلى تقسيم المملكة الحيوانية Kingdom Animalia إلى تحت مملكة Subkingdom إثنين كبيرتين هما أوليات وحيدات الخلايا Protozoa وعديدات الخلايا Metazoa . والإثنان يختلفان كثيرا في تعداد الأنواع Species في كل منها ، فيعرف من البروتوزوا ما يزيد على ٣٠,٠٠٠ نوع وعدد أفرادها يزيد عن عدد أفراد الحيوانات الأخرى جمعا ، بدرجة كبيرة .

وتعيش الحيوانات الأولية في أوساط رطبة مثل مياه المحيطات أو في قاعها ، المياه العذبة ، المياه نصف المالحة ، المياه العكرة ، كما تعيش أيضا في التربة الزراعية وفي المواد العضوية المتحللة .

ويعتبر تصنيف الأوليات غاية في التعقيد . فالكثير منها يقوم بتحويلات كبيرة خلال دورات حياتها ، ولا بد لأي نظام تصنيف Classification لها أن يأخذ في الاعتبار دوره الحياة الكاملة . أيضا فإن كل تلك الأوليات Protozoans تكون متحركة علي الأقل خلال أحد أطوار حياتها ولفترة طويلة شاع تقسيم البروتوزوا استنادا إلى ميكانيكية الحركة فيها إلى خمسة صفوف Classes وهي :

1. Class: Rhizopoda or Amebalike forms (Sarcodina or Amebas)

صفف اللحميات حيث يتحرك الحيوانات البالغة بواسطة الإنسياب البروتوبلازمي وتكوين الأقدام الكاذبة Pseudopodia

2. Class: Mastigophora (or Flagellates)

صف السوطيات وتكون الحركة بواسطة الفلجالات (الاسواط)

3. Class: Ciliate (or Ciliates) صف الهديبات

4. Class: Sporozoa (or Spore-forming parasitic forms) صف الجرثوميات

تتحرك الجرثوميات Sporozoans بالأقدام الكاذبة فقط في الأطوار غير الناضجة ، ويكون المشيج الذكري Male gamete متحركاً بالفلجالات .

5. Class: Suctoria (Suctoreans) صف المصاصات

حيث أن الأطوار الحديثة منها تكون ذات أهداب أما الأطوار البالغة فتكون جالسة Sessile ومزودة بمجسات Tentacles

ثم استقر الرأي علي أن يقوم تقسيم شعبة البروتوزوا Phylum Protozoa علي أساس مجموعة خصائص منها: الحركة ، المورفولوجي ، طريقة التتاسل ، وطريقة التغذية . وعلي ذلك فإن شعبة الأوليات تصنف إلى أربعة تحت شعب 4 Subphyla وتسعة صفوف - 9 Classes كما يلي :

I. Subphylum: Mastigophora

Class1: Phytomastigophorea

Class2: Zoomastigophorea

II. Subphylum: Sarcodina

Class: Actinopodea

Class: Rhizopodea

III. Subphylum: Sporozoa

Class1: Telosporidea

2: Cnidosporidea

3: Acnidosporidea

IV. Subphylum: Ciliophora

1: Ciliatea

2: suctorea

ومن بين هذه الفئات التقسيمية للبروتوزوا ، فإن أنواعا تتبع لثلاثة منها فقط هي التي تتواجد أو تعيش في التربة الزراعية وهي الموطيات Flagellates واللحميات Rhizopoda والهدبيات Ciliates

وتمر دورة الحياة في أغلب البروتوزوا بطور نشط Trophozoite (Vegetative or trophic stages) يحدث فيه التغذية والإنقسام ويطور سكن Encysted state غير نشط أكثر مقاومة عن الطور النشط للظروف السيئة التي توجد بالتربة الزراعية.

وتقدر أعداد البروتوزوا الموجودة بالأراضي بطريقة التخفيف (راجع برنامج الدراسة العملية لهذه المحاضرات) . ويميز بين الأنواع النشطة والأنواع الساكنة بمعاملة التربة بحمض 2% HCl لمدة ليلة ، وبذا يتم التخلص من الطور النشط للخلايا . والتناسل الشائع في البروتوزوا هو من النوع اللاجنسي لكن هناك أنواعا تتناسل جنسيا .

ويكثر وجود البروتوزوا في الأراضي في الربيع والصيف ، وتوجد في الطبقة العليا من التربة ، وتقل أعدادها مع تعمق ، وتتوقف أعدادها علي ظروف التربة خاصة محتواها من المادة العضوية والرطوبة والتهوية ، وعموما فإن أعدادها تتراوح ما بين 10 - 300 ألف / اجم تربة .

والبروتوزوا في تغذيتها إما مترمة تعيش علي المواد العضوية الميتة Saprozoic أو تلتهم الميكروبات الأخرى الأصغر حجما Holozoic وأكثر الكائنات التي تتغذى عليها البروتوزوا هي البكتريا . ولقد لوحظ انه عند تلقيح البكتريا والبروتوزوا في تربة معمة فإن أعداد البكتريا تزداد خلال الأسبوع الأول ويكون نمو البروتوزوا قليلا . ثم بعد ذلك تزداد أعدادها بسرعة ويتبع ذلك نقصا شديدا في أعداد البكتريا . وبعض أنواع

البروتوزوا يلزمها أعدادا كبيرة جداً من البكتيريا لتنمو وتكمل دورة حياتها .
ولقد قدر أن الخلية الواحدة من بعض أنواع اللحميات Sarcodina تحتاج
إلى ٤٠,٠٠٠ خلية بكتيرية لتنمو من الإنقسام .

وهذه النتائج تؤكد أن البروتوزوا يمكن أن تؤثر على أعداد البكتيريا
بالتربة الزراعية . ومن الملاحظ أن أنواع البكتيريا المختلفة تختلف من حيث
مناسبتها كغذاء للبروتوزوا - فبعضها تلتهمه بشراهة وبعضها بدرجة أقل
وبعضها غير ملائم لها . وعند تناقص أعداد البكتيريا الصالحة كغذاء
للبروتوزوا فإنها تدخل في مرحلة تحوصل حيث تظل ساكنة إلى أن تتحسن
الظروف .

ورغم وجود البروتوزوا بالأراضي ، فإن الدور الذي تلعبه بها غير
محدد تماماً ، غير أنه من الواضح أنها تلعب دوراً في حفظ التوازن
الميكروبي بالتربة بسبب تغذيتها على البكتيريا والخمائر وبسبب تغذية بعض
أنواع الفطريات عليها . كما يعتقد أن البروتوزوا تلعب دوراً في تحولات
بعض العناصر الغذائية الموجودة بالتربة مثل تحلل المواد العضوية المحتوية
على الفوسفات ، هذا بالإضافة إلى أن الأنواع الممرضة منها التي قد تتواجد
بالتربة تسبب أمراضاً للإنسان مثل *Entamoeba histolytica* التي
تسبب Amebiasis أي Amebic dysentery وكذلك *Balantidium Coli*
الذي يسبب Balantidiasis أي Diarrhea وللحيوان وديدان الأرض ويرقات
بعض الحشرات والحيوانات اللافقارية الأخرى.

وبالإضافة إلى البروتوزوا ، فإنه يوجد بالتربة حيوانات
أرقي Macrofauna تختلف أحجامها من ميكرومكروبية Microfauna مثل
الديدان إلى دودة الأرض ويرقات الحشرات والنمل وديدان الأرجل

والعناكب والقراد وجميعها يناسبها الوسط الهوائي والرطوبة المعتدلة والنفث. وتلعب بيدان الأرض دوراً هاماً في خصوبة التربة للزراعة حيث تقلب الأرض وتخلطها بالمواد العضوية وغير العضوية . ويستطيع بعض أفراد البروتوزوا تحمل نطاق واسع من درجات الـ pH (٧,٨-٣,٢) وتغذيتها يناسبها ٦-٨ pH حيث يكون عنده النشاط الأرضي أعلى مما يتور به.

ومن الطبيعي أن البروتوزوا من الحاملات للكلوروفيل أي المشتملات علي حوامل اللون Chromatophores (Class Phytomastigophorea) والتي تعد في نظر علماء النبات ضمن الطحالب الخضراء حيث تقوم بعملية البناء الضوئي Photosynthesis ، يلزمها الضوء كمطلب لحياتها ، وتقتصر الحال بالنسبة لتلك الأنواع من البروتوزوا التي تعتمد في تغذيتها علي التهام الميكروبات الممثلة للضوء بحيث يكون الضوء عاملاً محددا للنمو أيضاً

الفيروسات Viruses

هي مجموعة كبيرة من الأجسام الحية المتبينة الأشكال والمتشابهة في كونها طفيليات إجبارية تعيش داخل خلايا العائل الخاصر بها ، بمعنى أنها لا تنمو مترمة علي المواد العضوية الميتة ولا علي البيئات الغذائية الإعتيادية ولكنها متطفلة إجباريا ولا تنمو إلا علي نسيج حي أو داخل العائل القابل للإصابة بها . وهذه الأجسام دقيقة الحجم جدا بدرجة تسمح بمرورها خلال المرشحات التي تمنع مرور الخلايا البكتيرية والريكيتسيات وركيكتوسات صغر حجم الجزيئات الفيروسية ، فإن جدار خلية واحدة من أحد أنواع بكتريا جنس *Staphylococcus* يتسع لعدة آلاف من جزيئات الفيروسات الصغيرة ، وإن حجم جزيئ الفيروس الكبير لا يزيد عن ربع حجم خلية واحدة من هذه البكتريا . وتنمو الفيروسات في أنسجة النباتات

والحيوانات والحشرات ويدخل خلايا البكتريا والكثير منها قد لا تضر العائل النامية بخلاياه ، وفي بعض الأحيان يمكنها أن تميزه ببعض الأعراض مثل الفيروسات التي تعيش في خلايا أبصال الزينة (Tulip) حيث تتسبب في إنتاج أزهار ذات تخطيطات جميلة بدلا من تميزها بلون واحد . وفي هذه الحالة فان إصابة النباتات بالفيروس تزيد من قيمة هذه الأزهار ، ولذلك يقبل الزراع علي عدوي نباتات التبوليب بهذا الفيروس للحصول علي أثمان مرتفعة .

وعند تواجد الفيروسات بجسم العائل فإنها تسخر خلايا العائل لصالحها ، فهي تجربها علي تخليق بروتينات وأحماض نووية فيروسية بدلا من تخليقها للبروتينات و الأحماض النووية اللازمة لتكوين خلايا العائل ذاته.

وإذا رجعنا إلى تاريخ الدراسات الفيروسية لوجدنا أن باستير Pasteur عندما قام بدراسة مرض الكلب Rabies or hydrophobia بالرغم من عدم قدرته علي رؤية المسبب ، وأمكنه تحصين الإنسان أو الحيوان من الإصابة به ولم يكن بذلك أول من فتح الباب نحو دراسة الأمراض الفيروسية وفي الحقيقة الأمراض المتسببة من الإصابات الفيروسية كان من الممكن التعرف عليها إكلينيكيًا منذ عهد طويل قبل باستير . فأول مرض ميكروبي معد أمكن للتوصل الي طرق للوقاية منه كان مرضا فيروسيا ، فقد قام Jenner ١٧٩٦م بدراسة مرض الجدري Smallpox وأمكنه تحصين طفل عمره ٨ سنوات بلقاح اخذ من بثرة جدري متكونه علي جسم شخص آخر مصاب . ولقد تمكن من تحصين ٢٣ شخصا بنفس الطريقة فلم يصب منهم شخص واحد عند التعرض للإصابة . وحاليا يحضر المصل الواقي من مرض الجدري

ببتمية الفيروس في جنين بيض الدجاج أو علي جلد العجول الصغيرة لمنع فرصة انتقال أمراض أخرى إلى الإنسان المخصن .

ولقد قام Iwanowski ١٨٩٢م بإعطاء الدليل الإيجابي علي وجود الفيروسات القابلة للتريشيع عند دراسته لمرض موزايك السخان (TMV) Tobacco Mosaic Virus حيث وجد أن عصارة النباتات المصابة عقب تمريرها في أحد المرشحات البكتيرية لارال في إمكانها عدوي نباتات سليمة.

وقام Beijerinck ١٨٩٨م بتأييد نتائج Iwanowski والذي اقترح أن العدوي تحدث نتيجة للسائل المعدي Contagium fluidum vivum أي أن السئ المعدي موجود في السائل الناتج من التريشيع . وفي نفس العام ١٨٩٨م تمكن Frosch and Loeffler من إظهار أن مسبب مرض الفم والقدم فسي الماشية Foot and mouth disease (أي الحمي القلاعية) يمكنه أيضا أن يمر خلال المرشح البكتيري . ومنذ ذلك الوقت أمكن التعرف علي عديد من الأمراض التي تنسب عن الفيروسات (أي العوامل القابلة للتريشيع) والتي منها الجدري Smallpox والحسبة Measles ومرض الغدة النكفية (النكاف) Mumps والأنفلونزا والالتهاب الرئوي الكاذب Atypical

Pneumonia والحمي الصفراء وشلل الأطفال ومرض الفم والقدم (الحمي القلاعية) وأمراض الحشرات والطيور وأمراض النباتات مثل الموزايك والاصفرار والذبول والتخطيطات والتبقعات . كما وجد أن منها ما يسبب أمراضا لخلايا البكتيريا والاكيتنوميستات

وتحتوي جزيئات الفيروس لما علي DNA (فيروسات البكتريا) أو RNA (فيروسات النباتات) ولكن لا يتواجد النوعان من الأحماض النووية في جزيئ الفيروس الواحد . ومن الجدير بالذكر أنه وجد DNA أو RNA في

فيروسات الحيوانات . ووجود نوع واحد فقط من تلك الأحماض النووية في جزئ الفيروس سمه مميزة للفيروسات تجعلها متميزة عن ما هو معروف عن وجود مثل هذه الأحماض النووية في الخلايا نحية ، والتي تحتوي بدون استثناء علي كلا من النوعين من الأماض النووية.

ومن المعروف أن DNA أو الـ RNA هو المادة الحاملة للصفات الوراثية في كل الكائنات الحية ، إذن في حالة الفيروسات تحمل الصفات الوراثية علي الـ DNA أو الـ RNA حسب النوع الموجود منهما .

وقبل اكتشاف الميكروسكوب الإلكتروني كان من الصعب رؤية الفيروسات ، ولكن باكتشافه أمكن عمليا رؤية الأشياء ذات القطر الذي يبلغ من النقة إلى ٠.١ ميكرون . ولقد أمكن تكبير هذه الأشياء إلى مائة ألف أو أربعمئة ألف مرة باستعمال الميكروسكوب الإلكتروني ، كما يمكن اخذ صورا لها وتكبيرها بدرجات أكبر عند الطبع لتصل إلى تكبير قدره مليون مرة .

حياة الفيروس :

لكل فيروس نشط Active or Virulent دوره حياه كاملة داخل عائله ، تتكون من حلقات متتابعة هي إصابته للخلية العائل وبخوله فيها ، وتكاثره بداخلها ثم خروج ذرية منها كفيروس جديد نشط قادر علي العدوى . ونأخذ مثلا علي ذلك بكتريا *Escherichia coli* والتي تصاب بالبكتيريوفاجات التابعة لعائلة T ، ومنها سبعة سلالات (هي T1 ← T7) وهي فاجات نشطة ينشأ عنها موت البكتيرة العائل وإنفجارها وتحللها . وفيما يتعلق بتكاثر الجزء النووي الخاص بالفاجة دخل البكتيرة العائل وجد أنه يزداد خلال النصف الثاني من فترة السكون بينما يقل مقدار الحمض النووي الخاص بالبكتيرة ويستمر ذلك إلى وقت نضج الفاجة . ويتكاثر الجزء

فصل الأول

النوكليكي (النوى) من الفاجعة بمرعة وغزارة حتى لينتج من فاجعة واحدة أحيانا نحو ٣٠٠ فاجعة جديدة في ظرف ٢٤ دقيقة ويقدر وزن الفاجعات الجديدة بعد نضحها بنحو عشر (١٠/١) وزن البكتيرة العائل . وهو ولاشك أكثر كثيرا من وزن الجزء النووي للفاجعة الذي دخل البكتيرة . وعندما تبدأ فترة النضح تأخذ أجزاء الفاجعات المتكاثرة ني التجمع علي هيئة كروموسومات ثم علي هيئة التركيب النووي كالذي دخل الخلية من الفاجعة الأصلية ، ثم يتكون مع كل تركيب نووي البروتين الخاص به ، ويحيط بها غشاء الرأس والسنبط . فيتم بذلك تكوين الفاجعات الناضجة الجديدة . وتستغرق هذه العملية نحو ٥ دقائق في سلالة الفاج T2 . ويتجمع داخل البكتيرة عدد كبير من الفاجعات الجديدة يتراوح كما ذكرنا من ١٠٠ إلى ٣٠٠ حسب نوع الفاجعة . وتتفجر البكتيرة عن الفاجعات الجديدة بعد وقت معلوم من الإصابة يختلف باختلاف الفاجعة والبكتيرة معا فيتراوح بين ١٣ - ٤٠ دقيقة . ويعبر عن هذه الظاهرة بالانفجار Burst وعن عدد الفاجعات الناتجة من بكتيرة واحدة بحجم الانفجار Burst Size.

العلاقة الليسوجينية Lysogenic relation

تتميز فترة السكون في دورة حياة كاملة للفيروس النشط Eytic or Virulent بأن الفيروس يفقد خلالها صفاته السيرولوجية ومقدرته علي العدوي - وهذه الفترة تختلف من حيث طولها فتقصر حتي لتكون لحظات وجيزة أو تطول إلى بضع ساعات ، ويتم التكاثر للفيروس ويعقب ذلك فترة نضح تنتهي بانطلاق فيروسات نشطة قادرة علي العدوي .

ولنتكلم الآن عن فترة سكون أخرى في دوره حياة ناقصة ، فترة سكون طويلة يحدث خلالها تكاثر خضري محدود لا يعقبه نضح ، وهذا

النوع من السلوك يظهر في حالتين الأولى في الفيروس الكامن حيث لا تظهر للفيروس أعراضاً علي العائل ، والثانية في بعض أنواع الفاجات التي تعيش في بعض البكتريا معيشة ليسوجينية تظل تتكاثر مع البكتريا من جيل إلى آخر دون أن تتضج أو أن تنفجر البكتيرية عن فاجات نشطة . والبكتريا الليسوجينية بكتريا سليمة غير مريضة ، ذات قدرة كامنة علي إنتاج فاجات ناضجة ، وفيها يكون الجزء النووي للفاجة كأنه مشتمل Inclusion من مشتملاتها . متداخل ومندمج في تكوينها الوراثي . فالعلاقة الليسوجينية بين فاجة وبكتيرية دليل علي إمكان قيام صلة مباشرة بين جسم جديد في الخلية ، له صفات . انجين و بين الجزء النووي الوراثي للخلية .

وتختلف البكتيرية الليسوجينية عن غيرها في صفتين الأولى هي قدرتها . الكامنة علي إنتاج الفاجات . وبما أن إنتاج الفاجات هي عملية مميتة للبكتريا . العائل ، فإن هذه المقدرة تبقى في البكتيرية الليسوجينية كصفة كامنة . والثانية هي مقاومتها للفاجات المعتدلة Temperate phages إذ ثبت أن إصابة البكتريا الليسوجينية بهذه الفاجات لا ينشأ عنها تكاثرها بداخلها وتتمتع كل بكتيرية ليسوجينية بصفة المقاومة ، فهي إذن أيضاً صفة مظهرية (Phenotype) . البكتيرية الليسوجينية تشير إلى وجود بروفاجة Prophage داخلها . وسنحدث عن هاتين الصفتين كل علي حدة :

١) إنتاج الفاجات Phage Production

هناك وسيلتان تنتج بهما الفاجات من البكتريا الليسوجينية هما

أ. الإنتاج التلقائي Spontaneous production

ب. الإنتاج بالتأثير Induced production

وفي الحالة الأولى يتم الإنتاج تلقائياً تحت ظروف طبيعية غير معروفة نسبته وحدثه قليلة (معدل 10^{-10} : 10^{-6}) ويعادل عدد الفاجات المعتدلة التي تنطلق تلقائياً من بكتيرة ليسوجينية عدد ما ينطلق من بكتيرة مصابة بفاج نشط Vi-rulent . أما في الحالة الثانية فيكون الإنتاج بتأثير عوامل خارجية كالعوامل المطفرة Mutagenic agents أو العوامل المؤدية لحدوث ورم Tumor inducing agents or carcinogenic agent والأشعة فوق البنفسجية (UV) من أكثر هذه العوامل أثراً وأكثرها استعمالاً في التجارب . والبكتيريا اللبسوجينية هي وحدها التي ينطلق منها فاجات بالتأثير ، وقابليتها لذلك صفة ترتبط بالبروفاجة وليس بالبكتيرة نفسها لأن إنتاج فاجات معتدلة بالتأثير هو نتيجة لتحول في حياة البروفاجة من تكاثر متوافق مع تكاثر البكتيرة اللبسوجينية إلى تكاثر غير متوافق معها تكاثر مكرر ينتج عنه فاجات كثيرة ناضجة نشطة تموت البكتيرة علي أثره .

(٢) المقاومة :

تضفي البروفاجة علي البكتيرة اللبسوجينية التي تحتويها صفة المقاومة للعدي بفاجات أخرى قادرة أصلاً علي إصابتها . وهناك حالات تفقد فيها البكتيرة اللبسوجينية قدرتها الكامنة علي إنتاج فاجات فلا تتحول البروفاجة بدخلها إلى فاجات معتدلة مطلقاً نتيجة لحدوث طفرة خاصة في البروفاجة تحرمها ذلك . وتعرف هذه البروفاجة عندئذ بالبروفاجة الناقصة Imperfect prophage Defective or اللبسوجينية التي تشملها "البكتيرة اللبسوجينية الناقصة" . وفي مثل هذه الحالات لا يمكن الكشف عن بكتيرة ليسوجينية توجد بدخلها بروفاجة إلا بصفة المقاومة التي تتمتع بها.

ولقد ثبت أن التربة الزراعية تحتوي علي فيروسات ممرضة لبعض
أجناس البكتريا الهامة مثل : *Rhizobium*, *Enterobacter*,
Nocardia, *Agrobacterium*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*,
Azotobacter

كما أن هناك فيروسات تصيب الطحالب الخضراء المزرقّة
وتسمى *Cyanophage* أو *Algophages* أو *Phycoviruse* وهي توجد مع
الطحالب في الأنهار والبحيرات وأراضي الأرز . ومن أجناس الطحالب
الخضراء المزرقّة التي تصاب بالفيروسات نجد : *Cylindrospermum*,
Anabaena, *Nostoc*, *Oscillatoria* . كما لوحظ حديثا وجود فيروسات
تصيب الخمائر والفطريات والطحالب والبروتوزوا ، وتتميز هذه الفيروسات
مورفولوجيا بأنها خالية من الذيل و لذا يمكن تمييزها من هذه الناحية عن
فيروسات البكتريا . ومن الأجناس الفطرية التي تصاب بالفيروسات
نجد *Fusarium*, *Mucor*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Aspergillus*

مما سبق يتضح أن وجود الفيروسات في التربة الزراعية خصوصا
تلك الممرضة للنباتات والميكروبات من الممكن أن تؤثر علي خصوبة التربة
وإنتاجيتها نتيجة الإضرار بعوائلها.

الفصل الثانى :

الإتزان الميكروبي في التربة الزراعية

Microbial Equilibrium In Soil

الفصل الثاني

الإتزان الميكروبي في التربة الزراعية

Microbial Equilibrium In Soil

يوجد بيزر الميكروبات وبعضها أثناء معيشتها في أوساطها الطبيعية Natural habitant عديد من العلاقات التي تكون في حالة تغير باستمرار مما يعطي صفة ديناميكية مميزة للمجموعات الميكروبية في أوساطها الطبيعية . وتعد التربة من هذه الأوساط التي تبرز فيها هذه الديناميكية بحيث أنها تختلف من تربة إلى أخرى . ومن الطبيعي أن المجتمع الميكروبي "العشيرة الميكروبية " Microflora في أي وسط يتحكم فيه الإتزان البيولوجي الناتج عن مختلف علاقات التعاون والتضاد والتدخل بين أفراد هذا المجتمع الميكروبي Microbial population وتؤدي التغيرات البيئية Environmental changes إلى إختلال مؤقت في الإتزان البيولوجي Biological balance ولكن حالة الإتزان لا تثبت أن تعود إلى مستواها العادي أو قد تعود بصورة معجلة قليلا لتلائم التغير الجديد في ظروف الوسط . ويمكن تقسيم صور العلاقات بين ميكروبات التربة إلى المجموعات الآتية:

أولا : علاقات الحياد Neutralism

وذلك عندما يكون النوعين الميكروبيين ليس لهما علاقة ببعضهما ولا يتأثر أيهما بنمو الآخر . هذه النوعية من العلاقات وإن كانت موجودة ، إلا أنها تكون نادرة الحدوث في الوسط الطبيعي للميكروبات ، حيث أنها تحدث تحت

ظروف معينة كأن يكون عدد الميكروبات في الوسط قليل ، والإحتياجات الغذائية لكل نوع يختلف عن أحتياجات النوع الآخر ، بالإضافة إلي وفرة الغذاء.

ثانيا : علاقات التعاون والنفع Beneficial relations

وتتطوي هذه العلاقات Mutual على سلوك تشخيصي أو تعاوني يعود بالنفع علي أحد النوعين أو علي كل منهما . ومن هذه العلاقات التعايش أو المعايشة Commensalism ، التتسيط Synergism ، التعاون Protocooperation والتكافل Symbiosis . وهذه الصور من العلاقات تظهر واضحة بين ميكروبات للتربة الزراعية . ومن صور العلاقات النفعية Beneficial Associations في التربة الزراعية العلاقات الآتية :

١ - المعايشة Commensalism

هي علاقة بين نوعين أحدهما قادر علي مهاجمه وتحليل مادة لا يقدر الآخر علي تحليلها ، وتكون نواتج التحليل بواسطة الميكروب الأول ملائمة لتغذية الميكروب الثاني وهذه الصورة من التعايش تعتبر من أكثر العلاقات التعاونية بين ميكروبات التربة . وهي صورة منتشرة في التربة ، وفيها مثلا يمكن أن تتحول عديد من السكريات المعقدة إلي صورة ملائمة لتغذية بعض المجموعات الميكروبية غير المتخصصة في تحليلها للمركب المعقد . ومن الأمثلة الواضحة لذلك قيام محللات السليلوز Cellulose decomposers من بكتيريا وفطريات Cellulolytic ones بتحويله إلي سكريات بسيطة أو

أحماض عضوية تستخدم بواسطة الميكروبات غير المحللة للسليولوز
Non-cellulolytic ones.

أيضا هناك مثال آخر للمعايشة بين ميكروبات التربة يظهر من حاجة
عديد من ميكروبات التربة إلى مواد مساعدة للنمو . Accessory growth
substances . وهذه المواد المساعدة للنمو تكونها ميكروبات أخرى ، ويؤدي
إفرازها في الوسط إلى نمو الميكروبات المعقدة التغذية التي تحتاج إلى هذه
المواد وذلك كما في حالة *Saccharomyces cerevisiae* التي تفرز أثناء نموها
بعض المواد المساعدة على النمو مثل الفيتامينات وحمض النيكوتينيك
والبيورين فتشجع نمو الميكروبات الأخرى المستفيدة Commensals مثل
ميكروبات *Lactobacillus spp.* ، *Proteus vulgaris* .

أيضا هناك مثال آخر للتعايش يتلخص في قيام بعض ميكروبات
التربة بتحليل السموم والمواد المثبطة للنمو التي تفرز في التربة نتيجة
نشاط ميكروبات معينة ، وتحليل هذه المواد يعطي المجال للميكروبات
الحساسة لها لتنمو وتقوم بنشاطها . والمثال الرابع للمعايشة بين ميكروبات
التربة يتلخص في قيام الميكروبات الهوائية بالنمو وإستهلاك الأكسجين مما
يسمح للميكروبات اللاهوائية بالنمو بسهولة بعد ذلك حيث أصبح الوسط
ملائما لها .

٢ - التشبيط Synergism

من صور العلاقات النفعية والتعاونية التي توضح معنى التشبيط ، ما
لوحظ من أن تحليل بعض المركبات الطبيعية يكون أسرع في المزارع المختلطة
عن المزارع الميكروبية النقية . وقد يعزي زيادة النشاط في المزارع المختلطة
لقدرة أحد الميكروبين على التخلص من نواتج التخمر التي قد تؤثر على نمو
(٥٧)

الميكروب الآخر ، أو أن أحد الميكروبين ينتج مولداً مشجعة لنمو الميكروب الآخر .

وعلى أية حال يمكن تلخيص معنى التثبيط Synergism بأنه قدرة النوعين الميكروبين مع بعضهما على القيام بعمل أو تفاعل لم يكن أي منهما قادراً على القيام به منفرداً. وعلى سبيل المثال فإن كلا من *Proteus* ، *Staphylococcus aureus* ، *vulgaris* يمكنه تخمير سكر اللاكتوز منتجاً حمض بدون غاز ، ولكن إذا لقحا الإثنين معاً في أنبوبة إختبار واحدة بها مرق اللاكتوز فإن الناتج يكون حمض + غاز . كما أن المزرعة الخليطة من *E.coli* *Streptococcus faecalis* يمكنها إنتاج مركب Putrescine من الأرجينين ولكن أي من الميكروبين على حده لا يمكنه القيام بهذا التفاعل .

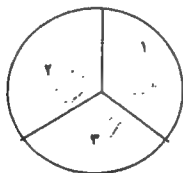
٣ - الحث Syntrophism

هو حث نمو ميكروب معين كنتيجة لتواجد نوع ميكروبي آخر معه أو بجواره في وسط النمو . والمثال على ذلك هو تنميه طفرات من بكتيريا *Escherichia coli* ناقصة القدرات التخليقية Auxotrophs (بعضها تنمو فقط إذا أضيف الأرجينين إلي بيئة الحد الأدنى Minimal medium ، وأخرى تنمو إذا تم إستبدال الأرجينين بالمستروولين Citrulline أو الأورنتين Ornithine على بيئة الحد الأدنى المحتوية على كمية بسيطة من الأرجينين تسمح بظهور نمو ضعيف من الطفرات الثلاث وذلك بعمل تخطيط مزدوج لكل طفرة في ثلث طبق بتري ، بحيث تتجاوز الطفرات الثلاث (شكل رقم ١) فيلاحظ غزارة نمو أحد الطفرات عندما تنمو مجاورة للطفرة الأخرى. ويعزي غزارة النمو هذه إلي أن أحد الطفرات تعمل على تغذية الطفرة الأولى بالمواد التي تكتمسها (جدول رقم ٤) . ومن الطبيعي أنه إذا

حدث تعطل وراثي إنزيمي Genetic block عند موضع جين واحد فقط فإن الطفرة الناتجة يمكنها أن تقوم بالتفاعلات الأخرى المحكومة بالجينات الأخرى التي لم تعطل حيث يمكن للخلية أن تستعمل المواد الناتجة أو المواد الوسيطة لسلسلة التفاعلات التي تسبق تَجين المتعطل وراثيا والذي تتكدس عنده المواد الوسيطة . وعلي ذلك فإن كل طفرة من الطفرات الثلاث (شكل رقم ١) يمكنها أن تكس مواد التفاعل الخاصة بالأنزيم المعطل بها وأن هذه المواد يمكنها أن تستعمل بواسطة طفرة أخرى يكون أنزيمها المعطل عند خطوة أخرى سابقة وهكذا.

جدول رقم ٤ : نمو طفرات *E. coli* المحتجة إلى حمض أرجنين

رقم الطفرة	المواد المضافة إلى بيئة الحد الأدنى		
	أورنيثين	سترولين	أرجنين
1	-	-	+
2	-	+	+
3	+	+	+



شكل رقم ١ : يبين ظاهرة Syntrophism الحث الميكروبي

وعلي ضوء النتائج المبينة بالجدول رقم ٤ يمكن إقتراح طريقة تخليق حمض أرجنين حيويًا بدخل الخلايا ، فمثلا الطفرة رقم ١ يبدو أن جهازها التخليقي معطل في الخطوة التي تسبق الأرجنين مباشرة والطفرة رقم ٢ تكون معطلة مباشرة قبل تكوين الستروالين والطفرة رقم ٣ تكون معطلة قبل تكوين الأورنيتين مباشرة كما يلي:



مثال آخر يتلخص في أن كل من *Lactobacillus arabinosus* و *Streptococcus faecalis* يمكنها أن تنمو مستقلة عن الأخرى ولكنهما ينموان أفضل عندما يكونا في مزرعة خليطة (معاً) حيث ثبت أن *Streptococcus faecalis* يمد *Lactobacillus arabinosus* بكميات طيبة من الحمض الأميني فينيل ألانين Phenylalanine في حين أن الميكروب الثاني يمد الميكروب الأول بفيتامين حمض الفوليك Folic acid الذي يلزمها. وقد تسمى هذه العلاقة بالتكافل الغذائي Nutritional symbiosis . ومثل هذه العلاقة الغذائية لوحظت في التربة بين عديد من الفطريات والبكتيريا حيث يعاون كل منها الآخر في الإمداد باحتياجاته من الأحماض الأمينية والفيتامينات والبيورينات .

٤ - التعاون Protocooperation

هي علاقة بين نوعين ذات فائدة كبيرة لكل منهما ، ولكن غياب هذه العلاقة لا يؤثر علي وجودهما ، أي أن التعاون ليس إجبارياً بينهما Non-obligatory mutualism . والتعاون له أهميه خاصة في تثبيت النيتروجين الجوي بواسطة ميكروب الأزوتوباكتر *Azotobacter sp.* ، فهذه الميكروبات تثبت النيتروجين الجوي ولكنها تحتاج إلي مصادر كربون

عضوية سهلة ، وعلى ذلك ففي وجود مادة كربوايدراتية معقدة مثل السليلوز فإن ميكروبات الأزوتوباكتر يمكنها فقط تثبيت النيتروجين الجوي خلال وجودها مع بكتيريا محللات السليلوز القادرة على تحويل السليلوز إلى سكريات بسيطة وأحماض عضوية . وبالمثل في حاله وجود النشا والمواد الكربوايدراتية الأخرى التي لا يستطيع الأزوتوباكتر تمثيلها . وقد تعيش الأزوتوباكتر في معيشة تعاونية أيضاً مع الطحالب التي تمد الأزوتوباكتر بما يلزمها من الكربوايدرات التي تبنيها في عملية التخليق الضوئي من CO_2 .

٥ - التكافل Symbiosis

وفية يعتمد كلا النوعين على الآخر ويستفيد كل منهما من وجود الآخر معاً . فيقوم عدد كبير من البكتيريا والأكتينومايستات وبعض الطحالب الخضراء المزرقة بتثبيت النيتروجين الجوي في عقد جذرية بالاشتراك مع بعض النباتات معراة ومغطاة البذور Gymnospermae-Angiospermae وفيما يلي تلخص صور التكافل في العقد الجذرية .

١. التكافل بين الرايزوبيا والنباتات البقولية

Rhizobia – legume symbiosis

٢. التكافل بين الرايزوبيا والنباتات غير البقولية (جدول ٥)

Rhizobia – non legume symbiosis

٣. التكافل بين الأكتينومايستات والنباتات غير البقولية (جدول ٥)

Actinomycetes – non legume symbiosis

٤. التكافل بين الطحالب الخضراء المزرقة ومعراة البذور (جدول ٥ ، ٦)

Blue green algae – gymnosperms symbiosis

جدول رقم ٥ : النباتات غير البقولية التي تكون عقدا جذرية

Endophyte	Symbiotic plant
I : <i>Rhizobium</i>	Angiosperms مغطاء بذور Trema, Zygophyllum
II: Actinomycetes (<i>Frankia</i>)	<i>Alnus, Coriaria, Hippophae, Casuarina, Myrica</i>
III: Blue green algae	Gymnosperms معراة بذور <i>Cycas, Zamia, Macrozamia</i>

جدول رقم ٦ : تكافلات الطحالب الخضراء المزرقة

Symbiotic plant	Genera	Phycobiont (Endophyte)
Fungi (lichens)	<i>Collema, Peltigera</i>	<i>Nostoc</i>
Bryophyta (liver - worts)	<i>Anthoceros, Blasia</i>	<i>Nostoc</i>
Pteridophyta (ferns)	<i>Azolla</i>	<i>Anabaena</i>
Gymnosperm(cycads)	<i>Cycas, Macrozamia.</i>	<i>Nostoc, Anabaena</i>
Angiosperm	<i>Gunnera (stemsymbiosis)</i>	<i>Nostoc</i>

وكما هو معروف ، فإن أي من النبات أو البكتريا المتكافلين لا يستطيع تثبيث النيتروجين الجوي في الحالة الحرة ولكن التثبيت يتم فقط خلال معيشته تبادل المنفعة Symbiosis . وكذلك الحال بالنسبة لتكافلات الطحالب الخضراء المزرقة . ومن صور تبادل المنفعة بين النباتات والفطريات هي قيام فطريات الميكوريزا Mycorrhizae بعمل شعيرات جذرية علي جنور بعض النباتات فتساعد علي إمتصاص الغذاء والماء وفي نفس الوقت يأخذ الفطر إحتياجاته الغذائية من النبات . وكذلك من صور هذا التكافل أيضا نبات الأرولا (سرخس مائي) مع الطحلب وكذلك الأشن

(تكافل فطر وطحلب). ويوضح جدول رقم ٧ مدى اعتماد الميكروب علي العائل ، حيث تزداد حالة التعاون كلما اتجهنا لأسفل.

جدول ٧ : إزداد الاعتماد علي العقل النبتي.

Microbe	Host plant
Soil <i>Enterobacter</i>	Roots
<i>Azotobacter Paspali</i>	<i>Paspalum</i> grass
<i>Cowpea Rhizobium</i>	<i>Trema</i>
<i>Rhizobium meliloti</i>	Alfa alfa (<i>Medicago</i>)
<i>Anabaena azollae</i>	<i>Azolla</i>
<i>Frankia</i>	<i>Alder</i>

ثالثاً: علاقات تضاد Antagonistic Relations

ومنها التنافس Competition ، الإضرار Amensalism ، الإقتراس Predation ، التطفل Parasitism . - وفيما يلي نناقش أهم صور العلاقات بين ميكروبات التربة .

علاقات التضاد Antagonistic Associations

أظهرت الدراسات أنه عند تلقيح ميكروب في تربة معقمة فإنه ينمو بسرعة ويصل إلي أعداد كبيرة ، بينما إذا أجري التلقيح في تربة غير معقمة فإن نمو الميكروب يكون بطيئاً . وقد يختفي الميكروب ثانية من التربة بعد أيام أو أسابيع ، وهذا طبعاً ناتج من التأثيرات الضارة لميكروبات التربة علي الميكروب الملقح . ووجود تأثير ضار لنوع من الميكروبات علي الأنواع المحاورة ظاهرة منتشرة في التربة ، وتظهر بوضوح في نقص الأعداد أو النشاط للميكروبات الحساسة. والعلاقات الضارة أو التنافسية بين نوعين من

للميكروبات في التربة تكون عديدة مما يؤدي إلي وجود نضال دائم علي البقاء ،
وتبقي في الوسط للميكروبات الأقر علي التأقلم لهذه الظروف المحيطة.

وقد يحدث التنافس بين كائنات من أنواع مختلفة ويسمي هذا الطراز
من التنافس " تنافس بين الأنواع Interspecific competition " أو قد يحدث
بين كائنات من نفس النوع ويسمي "تنافس دخل نوعي Intraspecific
competition". وتختلف الكائنات في قدرتها علي التنافس حيث تزداد قدرة
المحروب علي التنافس إذا ما توفرت له واحد أو أكثر من العوامل التالية:

- ١ - معدل نمو أسرع.
 - ٢ - قدرة علي تحمل الظروف البيئية المتغيرة من حرارة ، رطوبة ، pH ،
 - ٣ - قدرة علي تمثيل وتخزين المواد الغذائية والعوامل المشجعة علي النمو.
 - ٤ - القدرة علي التحرك والهروب من المواقع غير المناسبة.
- وصور التنافس الميكروبي يمكن تلخيصها في تنافس بين الأنواع
علي كمية محدودة من الغذاء أو الأكسجين أو في إنتاج مواد سامه تحبط نمو
الأنواع المجاورة . والتنافس علي مصادر الكربون أو النيتروجين أو
العناصر المعدنية أو الأكسجين -تعد من صور التنافس علي الغذاء.

ولقد درست العلاقة التنافسية بين ميكروبات التربة تحت ظروف
المعمل باستخدام فطر *Fusarium oxysporum* كميكروب اختبار Test
organism ولقد أظهرت الدراسة أن كثيراً من بكتيريا التربة تحبط نمو هذا
الفطر وثبت أن الميكانيكية الأساسية لهذا الإحباط كانت التنافس معه علي
الغذاء وخصوصاً مصدر النيتروجين حيث أمكن تلافي هذا التأثير المثبط
بإضافة المزيد من المصدر النيتروجيني.

ومن ناحية المواد المثبطة للنمو ، فإن بعض الكائنات المجهرية تنتج أحماضاً أثناء نشاطها الغذائي مثل حمض الكربونيك ، الكبريتيك ، النتريك ، وهذه تؤثر علي الميكروبات الحساسة للحموضة.

كما أن من الميكروبات ما يفرز ، كنواتج للتمثيل الغذائي ، مواداً سامة للكائنات الأخرى منها ما يوقف نمو البكتيريات Bacteriostatic أو يقتلها Bactericidal. ومن هذه السموم ما تفرزه الطحالب المزرقة والذهبية والـ Dinoflagellates وتسمى هذه المواد phytotoxins تنتشر في الوسط مسببة موت الأصناف والأسماك والطيور والتدييات في الأوساط المائية . كما أن بعض الفطريات تفرز سموما تسمى توكسينات فطرية Mycotoxins مثل Aflatoxins وتفرزه بعض الفطريات التي من أهمها *Aspergillus flavus* المنمي علي البذور خاصة حبوب الفول السوداني . ومن المواد الهامة التي تفرزها ميكروبات التربة أيضاً مضادات الحيوية Antibiotics .

ومع أن أعداد الميكروبات المنتجة لمضادات الحيوية في التربة تكون كبيرة ، فإن دورها في الاتزان الميكروبي وأهميتها في تحديد الأنواع السائدة في التربة غير معروف جيداً ، ومع ذلك فهناك من الشواهد ما يبين أهمية الميكروبات المنتجة لمضادات الحيوية في التربة منها :

١ - وجود أعداد كبيرة من الميكروبات في التربة لها القدرة علي إحباط نمو ميكروبات أخرى عند اختبارها في المعمل.

٢ - أن فطريات التربة الأصلية تقاوم فعل مضادات الحيوية عن الفطريات الخارجية .

٣ - زيادة إفراز مضادات الحيوية عند إضافة المواد العضوية للتربة . وفي نفس الوقت فإن إضافة مضادات الحيوية للتربة يعتبر أحد الوسائل المستخدمة في مقاومة أمراض للنبات.

ويري البعض أن الانتشار الواسع للميكروبات المنتجة لمضادات الحيوية في التربة أدى إلي إعطائها أهمية أكبر من اللازم من الناحية الأيكولوجية ولكن بالدراسة الدقيقة لم يمكن بيان صورة واضحة لدورها . والذين يعارضون الأهمية الكبيرة لمضادات الحيوية في التوازن الميكروبي في التربة يستندون علي مجموعة حثثيات منها :

١. لم توجد شواهد تثبت أن قدرة الميكروب علي إفراز المضاد الحيوي يزيد من قدرة هذا الميكروب علي المنافسة والتواجد وأن الميكروبات المنتجة لمضادات الحيوية ليست أكثر تولجداً من الميكروبات غير المنتجة لمضادات الحيوية .

٢. لم يمكن إيجاد علاقة بين الميكروبات التي توجد بأعداد كبيرة في التربة وحساسيتها أو مقاومتها للمضادات الحيوية بل لقد ثبت في كثير من الأحوال أن أكثر الميكروبات وجوداً في التربة هي الحساسة للمضادات الحيوية.

أن مضادات الحيوية لو أضيفت للتربة أو تكدنت فيها فإنها تفقد نشاطها بسرعة عن طريق إدمصاصها أو نتيجة تفاعلات كيميائية تحللها ميكروبياً وعلني أية حال ، فإن من علاقات التضاد أو التنافس التي وجدت في التربة الزراعية ما يلي:

١ - التنافس Competition

وفيها يتنازع النوعين علي نوع محدود من الغذاء أو الأكسجين أو المكان أو أي ضرورة من ضروريات البقاء مما يؤدي إلي أن نمو أحدهما يسود علي نمو الآخر .

٢ - الإضرار Amensalism

وفيها يضار أحد النوعين من وجود الآخر ولكن الميكروب الآخر لا يتأثر وذلك نتيجة إفراز النوع المؤثر لمادة سامة للنوع المتأثر أو لقيامه بتغيير ظروف الوسط . علي سبيل المثال فإن كل من *Staphylococcus aureus* ، *Pseudomonas aeruginosa* لهما فعل تضادي تجاه الفطر *Aspergillus terreus* ، فهناك صبغات معينة تفرزها بكتيريا السيديموناس تثبط إنبات جراثيم الأسيرجلس ، وتنتج ميكروب *Staph. aureus* مادة تنتشر في الوسط ، لها تأثير تضادي فطري تسبب نشوه وانتقاعات الهيفات الفطرية للقطر المذكور.

٣ - الإقتراس والتطفل Predation and Parasitism

وفيه يهاجم أحد النوعين مباشرة النوع الآخر. ونظرا لهذه العلاقات التنافسية (التضاد) المتعددة فإنه من الصعب نجاح تلقیح ميكروب غريب في تربة ونجاحة في الإستمرار وتكاثره فيها ، وذلك لأن غياب هذا الميكروب أو وجوده بأعداد قليلة في التربة من الأصل قبل وضعه فيها يظهر أن ظروف هذه التربة غير ملائمة لنموه . ومن هذا يتبين أن التغيرات التي تحدث بعد إضافة نوع غريب من البكتيريا أو الفطريات إلي التربة تكون وقتية وعادة ما يموت هذا النوع ويختفي بعد فترة.

الإقتراس Predation

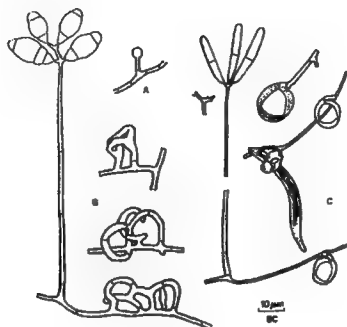
- يقوم المفترس Predator بالتغذي علي الفريسة Prey مسببا موتها . وعادة ما تكون الفريسة أصغر حجما وأكثر عددا من المفترس . ويطلق علي هذا النوع من التغذية اسم Phagotrophic feeding من الميكروبات المفترسة ما يلي:

Protozoa, Myxomycetes ,e.g. *Dictyostelium*, Myxobacteria, e.g., *Myxococcus*, *Chondrococcus*, *Polyangium*, *Archangium* and Dinoflagellated algae , e.g., *Oxyrrhis* , *Gymnodinium*

ويلاحظ أن كلا من البروتوزوا والفطريات اللزجة والميكسوبيكتريا تكون واسعة الانتشار في التربة، وإن كانت الأخيرة أقلها عدداً.

وهناك مجموعه من الفطريات التي تعيش بالتربة و يطلق عليها الفطريات القانصة Trapping fungi أو المفترسة Predatory fungi تهاجم الليماتودا إما بتكوين حلقات تقع فيها الفريسة أو بتكوين إلتصاقات Sticky bulbs من الأفرع الجانبية للهيئات (وهذه كلها تسمى فخاخ Snares) تلتصق بها ديدان الليماتودا، وقد تنشأ منها معصات تخترق جسم الليماتودا ثم تمتص محتوياتها البروتوبلازمية شكل رقم ٢ .

ومعظم الفطريات ذات المقدرة علي قنص وإفتراس الليماتودا تتبع مجموعة الفطريات الخيطية Hyphomycetes ، وهي فطريات ناقصة تنتج الكونيدات علي خيوط قطرية قطنية Cottony hyphae مفككة ، وتقسيما تقع في شبة صف Form class Deuteromycetes . كما أن بعض أفراد رتبة Zoopagales (Class zygomycetes) لها القدرة علي إفتراس الليماتودا ، ولكن للشائع عنها بصفة عامة هو إفتراس الأميبات Amoebae ، الحيوانات جزرية الأقدام Rhizopods (Rhizopde) أو الحيوانات المدورات (Rotifera) Rotifiers .



شكل رقم ٢ : فخاخ الفطريات المغترسة

A : إنتفاخ صمغى صغير

B : خطاطيف ملتقة *Dactylaria thaumasia*

C : هيفات ملتقة فى صورة حلقات *Arthrotrichum dactyloides*

ومع أن أفراد هذه الرتبة الأخيرة لا تمتلك بطريقة جلية ، فخاخ خاصة Special snares ، إلا أن كونيداتهما قد تبتلع وتثبت بداخل جسم الحيوان أو قد تلتصق بجسده ثم تخترقه عند تكون أنبوبة الإنبات Germ tube شكل رقم ٣ .



شكل رقم ٣ : الفطريات التي لها القدرة على قنص وإفتراس النيماتودا
تعتبر البكتيريا أكثر الأحياء الدقيقة الموجودة تعرضاً للإفتراس ،
ومن أكثر الأحياء قدرة على إفتراس البكتيريا البروتوزوا ، وهذه بتغذيتها
على الملايين من البكتيريا يمكن أن تؤثر على التوازن البيولوجي ، فقد
لوحظ مثلاً أنه في التربة المسمدة تسميداً عضوياً جيداً ، فإن هناك علاقة
عكسية بين أعداد البكتيريا والبروتوزوا . ولكن عموماً فإن أثر ذلك على
البكتيريا لا يصل إلى درجة خطيرة حيث أن أعداد البروتوزوا أيضاً يتحكم
فيه الإتزان البيولوجي وعموماً ، فإنه تحت الظروف العادية ، فإنه توجد
حالة إتزان بين أعداد المفترسات وأعداد الضحايا.

من ملتهبات البكتيريا أيضا الفطريات الهلامية حيث تتغذي عليها مباشرة مؤثرة علي أعدادها حيث أن لهذه الفطريات مرحلة من النمو تشبة فيها الأميبا. يكثر وجود الميكسوبيكتيريا *Myxobacteria* في أكوام السماد وبقايا الأسطوانات وروث الحيوانات ، حيث يكون أعداد البكتيريا وفيها كبير جدا، وبذلك تمنح الفرصة لزيادة أعداد الميكسوبيكتيريا في هذه المصادر بالتغذي علي البكتيريا . والميكسوبيكتيريا تذيب خلايا البكتيريا *Bacteriolysis* أولا بما تفرزه من إنزيمات خارجية محللة ثم تمتص المواد المذابة للتغذية عليها.

والقدرة علي تحليل lysis الميكروبات ليست محدودة في الـ *Myxobacteria* فإن تغذية البكتيريا علي هيفات الفطريات ظاهرة معروفة ولقد أمكن مشاهدتها كثيرا في تكنيك الشريحة المغمورة *Buried slide technique*. وقدرة البكتيريا علي تحليل للفطريات يمكن أن تكون أحد العوامل المؤثرة علي إنتشار الفطريات في التربة. فكثير من الميكروبات التابعة لجنس *Bacillus* (مثل *B. pumilis*) يمكن أن تفرز إنزيمات خارجية قادرة علي تحليل ميسيليوم الفطريات وهضمها، وهذه الظاهرة أيضا شوهدت بين أنواع من جنس *Streptomyces*. وجدول رقم ٨ يوضح الميكروبات المفترزة لانزيمات محللة والميكروبات التي تتأثر بها.

Table 8 : Microorganisms producing lytic enzymes and species susceptible to these enzymes

Lytic Organism	Susceptible to lysis	Resistant to Lytic Species
		Bacteriolytic organisms
<i>Aeromonas</i>	<i>Bacillus, Clostridium</i>	<i>Pseudomonas, Salmonella</i>
<i>Chalaropsis</i>	<i>Streptococcus Corynebacterium</i>	<i>Mycobacterium, Proteus</i>
<i>Flavobacterium</i>	<i>Pedlococcus, Staphylococcus</i>	<i>Micrococcus</i>
<i>Myxobacterium</i>	<i>Arthrobacter, Micrococcus</i>	<i>Arthrobacter, Escherichia</i>
<i>Sorangium</i>	<i>Bacillus, Sarcina</i>	<i>Rhizobium, Xanthomonas</i>
<i>Streptomyces</i>	<i>Corynebacterium, Bacillus</i>	<i>Streptococcus, Sarcina</i>
		Mycolytic organisms
<i>Agrobacterium</i>	<i>Achlya, Pythium</i>	-----
<i>Bacillus</i>	<i>Alternaria, Penicillium</i>	<i>Pythium, Saccharomyces</i>
<i>Pseudomonas</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Rhizoctonia</i>
<i>Streptomyces</i>	<i>Aspergillus, Sclerotium</i>	<i>Cladosporium, Rhizoctonia</i>
<i>Streptomyces</i>	<i>Mucor, Penicillium</i>	<i>Alternaria, Helminthosporium</i>
<i>verticillium</i>	<i>Hemileia, Puccinia</i>	-----

وظاهرة تحلل الخلايا الميكروبية Cell lysis ظاهرة واسعة الانتشار ويعود ذلك التحلل في الأراضي إلي ظاهرتين الأولى هي ظاهرة التحلل الخليط Heterolysis وفيه تتحلل جدر الخلايا أو الهيفات بواسطة إنزيمات خارجية تفرزها الكائنات المهاجمة ، والخلايا التي تحللت جدرها تصبح غير قادرة علي المحافظة علي مكوناتها وتفقد حيويتها وتموت . أما الظاهرة الثانية فهي التحلل الذاتي Autolysis وفيه يحدث تحلل ذاتي للخلية الميكروبية أو الهيفات بواسطة إنزيمات تفرزها الخلية نفسها أو تتحلل الخلايا ذاتيا بسبب نقص التغذية . وتتعرض مجموعة كبيرة من الفطريات للتحلل من النوع الخليط Heterolysis بواسطة الإنزيمات التي تفرزها بعض أنواع

البكتيريا والأكتينومايسات مثل *Pseudomonas*, *Nocardia*, *Streptomyces*, *Bacillus* والتحلل ليس مقصوراً فقط على الهيفات بل يمتد إلى الجراثيم اللاجنسية كالجراثيم الكونيدية والاسبورانجية وغيرها، وإن كان تحللها يكون بدرجة أبطأ من تحلل الهيفات . وتتميز الكائنات المهاجمة بقدرتها على إفراز إنزيمات خاصة بتحليل جدر الخلايا التي تهاجمها ، ومن هذه الأنزيمات *Cellulase*, *Chitinase* and *Peptidoglycan hydrolyzing enzymes* وهي تحلل السليلوز والكتين الموجود في جدر الفطريات وكذلك طبقة الميورين الموجودة في جدر البكتيريا والطحالب الخضراء المزرققة .

بعض أنواع البكتيريا تقاوم عملية الإفتراس بما تفرزه من مواد لزجة أو بما تكونه من كابسول *Capsule* كبير أو بتركيبات معينة في جدر خلاياها أو بما تفرزه من توكسينات أو من صبغات كما في حالة البكتيريا الملوثة مثل أجناس *Serratia* . *Chromobacterium* مما يصعب عملية الإفتراس *Predation* أو قد يعيقها تماماً . لذلك نجد أن الكائنات المفترسة *Predators* تختار ضحاياها من أنواع معينة . وجدول رقم ٩ يوضح نماذج لهذا الاختيار .

ويتوقف معدل الإفتراس على نوع المفترس والفريسة والظروف البيئية المحيطة . ومن التجارب المعملية وجد أن البروتوزوا تستطيع في كل دورة انقسام لها أن تلتهم ما يزيد على عشرة آلاف خلية بكتيرية .

Table 9 : Food choices of predators with broad and narrow prey specificities

Predator	Prey
Dictyostelium discoideum	Nonparasitoidous Predators <i>Aerobacter</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Flauobactrium</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Pseudomonas</i>
Dimorpha	Flagellates, unicellular algae
Mayorella bigemma	Ciliates, diatoms, flagellates, nematodes, rhaopods, rotifers
Noctiluca	Distoms, dinoflagellates, metazoa
Oxyrrhis marina	Chrysophyta, Chlerophyta, Crypcophyta, Rhedophyta, Bacillariophyta
Uronychia transtuga	Algae, bacteria, ciliates , Faotudious ciliates
Actinobolina radians	Halteria
Didinium nosutum	Paramecium
Woodruffia metabolica	Paramecium
Nassula citrea	Oacillatoria filaments

ويوضح جدول رقم ١٠ معدل الإفتراس لبعض الميكروبات . كما
يوضح الشكل رقم ٤ التغير في كثافة أعداد البراميسيوم الذي يتغذى علي
نوع من الخمائر هو *Schizosaccharomyces pombe*.

Table 10 : Predator consumption rates

Predator	Prey	No. of Prey Consumed
<i>Amoeba proteus</i> <i>Didymium nasutum</i>	<i>Tetrahymena pyriformis</i> <i>paramecium aurelia</i>	28-47/hr 3/cell division*
<i>Leurophryl patus</i> <i>Paramecium caudatum</i>	<i>Glaucoma pvtiformis</i> <i>Bacillus subtilis</i>	50/cell division 18,000/cell division

* The number of cells consumed in the time required for an individual predator to give rise to two daughters.

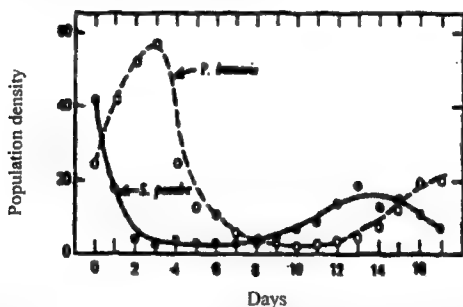


Fig (4) : Fluctuations in population density of paramecium bursaria feeding on *schizosaccharomyces pombe* in vitro

التطفل Parasitism

الطفيل Parasite كائن يتغذي علي خلية أو نسيج عائل اخر عادة أكبر منه حجما فيسبب له الضرر . ومن التطفل حالة تميز معيشة بعض أنواع من البكتيريا والفطريات والبروتوزوا بالإضافة إلي الفيروسات . وقد يكون التطفل إختياريا Facultative parasitism حيث يستطيع الكائن أن ينمو مستقلا أو متطفلا لبعض الوقت ، أو قد يكون إجباريا Obligate parasitism حيث لا ينمو الكائن إلا علي أو في العائل الحي كما في الفيروسات والرايكتميات . ويشمل جنس *Bdellovibrio* ميكروبات هامة زراعيًا مثل *B.bacteriovorus* وهو ميكروب متحرك عن طريق فلاجلات طرفية قطبية شكل رقم ٥ وحيدة ، ويعيش في فترة حياته إجباريا كطفيل داخل الخلايا البكتيرية للأنواع الأخرى ويعتبر ذلك ضروريا لكي ينمو ويتكاثر . ويتواجد هذا الميكروب بكثرة في المياه والأراضي الزراعية والسماد حيث يتواجد أعدادا غزيرة من البكتيريا السالبة لجرام . ولقد عُزل من الحماة النشطة Activated sludge حيث تتواجد أعدادا وفيرة من بكتيريا القولون . وظاهرة تطفلة داخل الخلايا البكتيرية تشبه لحد كبير ظاهره التحلل الفاجي للخلايا البكتيرية مع بعض الاختلافات . وبصفة عامة فإن أفراد جنس *Bdellovibrio* والتي لها خاصية الفتك بالخلايا البكتيرية الأخرى ، لها أهمية زراعية حيث تؤثر علي الميزان الميكروبي في التربة الزراعية والسماد البلدي.

وفي بداية مرحلة التطفل فإنها تلتصق بسطح الخلية العائل ثم تنفذ من جدار الخلية وتسكن بين الجدار والغشاء الميتوبلازمي ثم تتكاثر علي حساب الخلية ، وتكون عدة أجيال في خلال ساعات ثم تتحلل خلية العائل وتخرج

منها لتهاجم غيرها وهكذا . ويبين شكل رقم ٦ تطور أعداد البيلوفيريو عند نموها مع أحد العوائل مثل *Erwinia* spp.



Fig 5 : Attachment of *Bdellovibrio bacteriovorus* to a bacterial cell

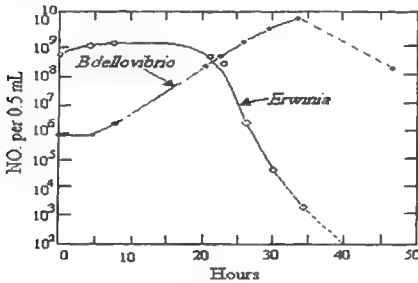


Fig 6 : Development of *Bdellovibrio bacteriovorus* on *Erwinia amylovora*.

وفي بعض الأحوال فإن الفاج Bacteriophage يلعب دوراً في تحديد أعداد الميكروب الحساس له ، ومن المعروف أن لكل ميكروب

فيروس خاص به ، فإذا وجد الفيروس المتخصص في التربة فإنه يغزو خلايا العائل ويتكاثر داخله ليكون أعدادا كبيرة من الفيروس ثم تتحلل خلايا الميكروب المصاب ويغزو الفيروس غيرها وهكذا . وقد تؤدي الإصابة بالفيروس إلى تقليل وإختفاء نوع معين من البكتيريا كما لوحظ من بعض الدراسات أن سبب عدم تكون العقد الجذرية على بعض النباتات ابقولية هو إصابة البكتيريا العقدية بالفيروس ويتناقص عددها تبعا لذلك .

كما أن تأكيد مقدرة بعض الفطريات على التطفل على فطريات أخرى مما يؤدي لإختفاء الفطر الحساس من التربة ، ويظهر التطفل باختراق هيفات نطفيل لهيفات العائل أو بالتفافها حولها . وسبق أن تعرضنا لإفتراس الفطريات للنيماتودا والبروتوزوا وتوضيح كيفية إمساكها بها ثم إحتراق هيفات الفطر لها والتغذي عليها .

الفصل الثالث :

ميكروبات سطح النبات
(الفايتوسفير)

**Plant Surface Microflora
(Phytosphere)**

الفصل الثالث

ميكروبات سطح النبات

Plant Surface Microflora

يحتوي سطح النبات (الفائتوسفير Phytosphere) سواء الذي يقع منه فوق سطح التربة أو تحتها على أعداد كبيرة ومتنوعة من الكائنات الدقيقة منها المتطفلات ومنها غير المتطفلات . ومن هذه الكائنات الدقيقة ما ينمو على أسطح النباتات السليمة ومنها ما يوجد على النباتات غير السليمة والمتهكة والمتحللة . وكل جزء من أجزاء النبات (جذر - ساق - ورقة - زهرة - ثمرة) يمثل وسطاً بيئياً مناسباً لمجموعة مميزة من هذه الكائنات الدقيقة. ومن الطبيعي ، فإن تغير الظروف البيئية المحيطة بالنبات أو الظروف الفسيولوجية الخاصة به ، تؤدي إلى حدوث تغيرات عديدة ونوعية (Qualitative & Quantitative) بالميكروبات المحيطة بالنبات . ومن تلك العوامل المؤثرة التي تحدث تلك التأثيرات الكمية أو النوعية تذكر الأتي : الرش بالمحاليل المغذية والهورمونات والمثبطات ، إفراسات النبات ، التفاعل المتبادل بين سطح النبات والكائنات الدقيقة ، نظام تتابع الكائنات الدقيقة على السطح ، استعمال المبيدات ، الأمراض النباتية .

ومن المصطلحات العلمية الخاصة بعلاقة الميكروبات بأجزاء سطح النبات ما يلي : Edaphosphere, Histosphere, Rhizosphere, Rhizoplane وذلك فيما يتعلق بميكروبات منطقة المجموع الجذري والتربة البعيدة . Caulosphere, Cauloplane وذلك فيما يتعلق بميكروبات منطقة الساق . Phyllosphere, Phylloplane وذلك فيما يختص بميكروبات منطقة الأوراق . Gemmisphere. وذلك فيما يختص بمنطقة البراعم وما يحيط بها

ويطلق مصطلح Phytosphere علي كل من الريزوسفير (وهو الوسط النباتي في التربة Terrestrial plant environment) والفيلوسفير والكاولوسفير والجمي سفير (والثلاثة جميعهم كناية عن الوسط النباتي الهوائي Aerial plant environment). والعلاقات التي تربط الفيلوسفير والنبات والريزوسفير والوسط المحيط كوحدة بيئية يوضحها الشكل رقم ٧. وفيما يلي سوف نتعرض لهذه المجموعات الأيكولوجية وخصائص المجتمعات الميكروبية بكل منها.

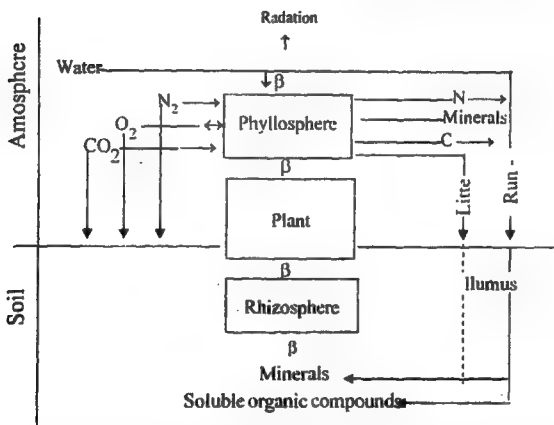


Fig. 7 : Phyllosphere interrelationships in the compartments of the ecosystem

أولاً : ميكروبيولوجيا المنطقة المحيطة بجذور النباتات Rhizosphere

من المعلوم منذ وقت طويل أن جذور النباتات تحدث تغييرات واضحة كبيرة في النشاط الميكروبيولوجي في التربة ، ونتيجة لذلك فإن التربة المنزرعة تحتوي أعداداً كبيرة ونشاطاً حيويًا أكثر من التربة البور

Fallow or non-cultivated soil

ولقد أظهرت الدراسات الأيكولوجية أن الميكروبات تتركز بأعداد ضخمة حول جذور النباتات النامية ، ولقد صيغ مصطلح Rhizosphere بواسطة Hiltner عام ١٩٠٤ للدلالة عن المنطقة المحيطة بجذور النباتات ، وحيث تكون ذات نشاط بيولوجي عالي وتميز عن المنطقة البعيدة عن الجذور ، وبذلك عرفت منطقة الريزوسفير بأنها المنطقة من التربة التي تكون فيها الكائنات الدقيقة متأثرة بجذور النبات. ولقد تعددت البحوث حول هذه المنطقة وأوضحت النتائج أن البكتيريا المحيطة بجذور النباتات تكون لها آثاراً واضحة على نموها ، وأنها تلعب دوراً خاصاً في إذابة وتيسير العناصر المعدنية للنباتات ، كما يمكن في بعض الظروف أن تنافس النبات على العناصر المعدنية الموجودة بنسب محدودة.

كما ثبت من هذه البحوث أيضاً أن للتأثير المشجع لجذور النباتات على الكائنات الدقيقة بتلك المنطقة ليس متساوياً لمختلف المجاميع الميكروبية، كما أن هذا التأثير يختلف من نبات إلى آخر وحسب عمر النبات ، كما أن حالة النبات النامي تنعكس بوضوح على ميكروبات هذه المنطقة . ونظراً لأن أعداد وكذا أنواع الكائنات الدقيقة في كل من سطح الجذور المباشر من ناحية ، والتربة المحيطة بالجذور من ناحية أخرى تختلف باختلاف كبيراً فإن

المتخصصون في هذا المجال الدقيق يميلون إلى تقسيم هذه المنطقة من الواجهة الأيكولوجية إلى منطقتين متميزتين هما :

a. Rhizosphere (=the outer rhizosphere) وهي المنطقة القريبة المحيطة بالجنور

b. Rhizoplane (= root surface) وهو سطح الجنور المباشر حيث تلتصق به الميكروبات

ولقد أضيف إلي القسمين a,b قسما ثالثا هو:

c. Histosphere (=the inner rhizosphere) وهو منطقة القشرة بالجنور والتي تسكنها الميكروبات المترمة .

أما منطقة للتربة البعيدة عن الجنور فتسمى Edaphosphere.

تأثير جنور النباتات علي ميكروبات الريزوسفير:

تؤثر جنور النباتات علي ميكروبات الريزوسفير بطرق عديدة ، فتتفسس الجنور وإخراجها كميات كبيرة من CO_2 يؤثر في الـ pH حولها ، كما أن امتصاص الجنور للأيونات المعدنية يحدث تغييرات واضحة في المنطقة المحيطة بالجنور ، فمن المعروف أن الجنور لها خاصية الإمتصاص الإختياري لبعض الأيونات بمعدلات أعلي من أيونات أخرى حسب حاجة النبات ، مما يحدث تغييرات في تركيب الأيونات في محلول التربة Soil solution حول الجنور عن التربة البعيدة عن الجنور .

ولكن أهم العوامل المؤثرة علي النشاط الميكروبي في هذه المنطقة (Rhizosphere) هو دور الجنور في إمداد الميكروبات بكثير من مصادر للطاقة والعناصر الغذائية في صورة أجزاء الجنور المتقطعة والخلايا الميتة والممزقة وإفرازات الجنور المختلفة . والأخيرة يختلف

تركيبها من نبات إلى آخر مما ينعكس على أنواع الميكروبات السائدة . وكل هذه العوامل تؤثر تأثيراً منشطاً على الميكروبات في المنطقة المحيطة بالجنور . مما يجعل أعداد الميكروبات في هذه المنطقة أعلى بكثير من للتربة البعيدة عن الجنور .

كل ما سبق يوضح بإختصار ، تأثير جنور النباتات على الميكروبات في منطقة الريزوسفير ، وهو تأثير يحدد مع عوامل أخرى أنواع وأعداد الميكروبات بتلك المنطقة . ومن البديهي ، فإن الإختلاف في تركيب العشيرة الميكروبية Microflora في منطقة الريزوسفير عن التربة البعيدة عن الجنور كما ونوعاً يرجع لهذه التأثيرات المختلفة . ولقد أدت هذه التأثيرات المختلفة إلى أن أعداد الميكروبات في منطقة الجنور Rhizosphere أعلى بكثير عن أعداد ميكروبات التربة العادية البعيدة عن الجنور (Edasphere). كما أن أنواع الميكروبات السائدة حول الجنور تختلف في نسبتها عن التربة البعيدة عن الجنور . وفي العادة يقاس التأثير الذي تبديته للجنور على الميكروبات سواء على أعداد الميكروبات الكلية أو على أنواع محدودة من الميكروبات بتقدير ما يسمى " بتأثير الريزوسفير Rhizosphere effect " وذلك بتقدير نسبة R:S Ratio

وهي عبارة عن العشيرة الميكروبية في منطقة الريزوسفير (R) في الجرام الواحد من التربة الجافة مقسوماً على العشيرة الميكروبية في التربة البعيدة عن الجنور soil (S) في الجرام الواحد من التربة أيضاً . وهذا التقدير (الكثافة العددية) يعطي مقياساً واضحاً لتأثير الجنور على الميكروبات، فإذا كانت النسبة R:S ratio لمجموعة ميكروبية Microbial group أكبر من ١ ، كان معنى ذلك أن للجنور تأثير مشجع على هذه

المجموعة الميكروبية أي تأثير موجب . وبالعكس إذا قل مقدار النسبة عن -
١ كان التأثير مثبطا - أي تأثير سالب . وكلما زادت قيمة النسبة R:S ratio
كان ذلك دليلا على أن التأثير المشجع اكبر .

أما لتقدير تأثير معاملة ما على ميكروبات الريزوسفير ، فيمكن
استخدام المعادلة التالية:

$$R:S \text{ efficiency} = \frac{R_t - R_c}{S_t - S_c}$$

حيث أن :

R_t = عدد ميكروبات الريزوسفير المعامل (بمعاملة ما موضع الدراسة).
 R_c = عدد ميكروبات الريزوسفير غير المعامل (المقارنة - كنترول)
 S_t = عدد ميكروبات التربة البعيدة عن الجذور (المعاملة بمعاملة موضع
الدراسة) .

S_c = عدد ميكروبات التربة البعيدة عن الجذور (غير المعاملة المقارنة)
وبذلك يمكن حساب التأثير الفعلي للمعاملة Treatment على ميكروب
منطقة الريزوسفير . ولقد ثبت من بعض الدراسات أن التأثير المشجع
للريزوسفير يظهر والنبات لا يزال عمرة ٣ أيام فقط حيث وصلت نسبة الـ
R:S في هذا العمر إلى ١: (١٢-٢٣) وأن هذا التأثير يزداد مع نمو البادرة ،
ويرجع ذلك لإفرازات الجذور أساسا وليس للأنسجة النباتية الممزقة من
الجذور والشعيرات الجذرية . ومع تقدم النبات في العمر فإن الأنسجة
الممزقة والميتة هي التي تؤثر على الميكروبات . وعندما يصل النبات إلى
طور النضج ، فإن أعداد الميكروبات تبدأ في التناقص حتي تصل أعداد
الميكروبات أخيرا إلى مئتها العادي في التربة للزراعة .

وتتأثر الميكروبات في منطقة الريزوسفير أيضا بنوع النبات النامي وبصفة عامة فإن النباتات البقولية لها تأثير ريزوسفيري Rhizosphere effect مشجع أكثر من نباتات الحشائش والحبوب فقد تصل النسبة (R:S) إلي ٢٥ - ١ في حالة زراعات الحشائش والحبوب علي حين تصل إلي ٥٠:١ في حالة البقوليات . كما ثبت أن الـ R:S ratio تكون عادة أعلى في التربة قليلة الخصوبة والفقيرة في العناصر الغذائية عن التربة الخصبة والغنية بالعناصر الغذائية.

ولقد ثبت من الدراسات أن ميكروبات الريزوسفير لا تختلف كما ونوعا عن ميكروبات التربة البعيدة عن الجذور فقط ، ولكن أيضا فإن الأنواع المعزولة من الريزوسفير تكون أكثر نشاطا عن مثيلاتها التي تعيش بعيدا عن الجذور وأكثر كفاءة تمثيلية . وقد يمكن تفسير ذلك بأن حالة التزامح الميكروبي حول الجذور تجعل الظروف البيئية غير مناسبة للميكروبات الضعيفة بطيئة النمو وبهذا يحدث انتقاء Selection للميكروبات الأكثر كفاءة ويكون لها السيادة في هذه المنطقة .

تأثير الريزوسفير علي أنواع الميكروبات:

سبق أن أوضحنا أن الميكروبات المختلفة تظهر درجات مختلفة من التأثير بالجذور ، لذلك ليس مستغربا أن نجد بعض المجموعات الميكروبية يزداد أعدادها كثيرا في منطقة الريزوسفير ، بينما مجموعات ميكروبية أخرى يكون لجذور النباتات تأثيرا مثبطا عليها فتقل أعدادها في الريزوسفير عن التربة البعيدة عن الجذور ، كما أن هناك أنواعا أخرى لا تتأثر نسبيتها كثيرا .

وفيما يلي نشير لبعض التأثيرات للنوعية لميكروبات الريزوسفير ، خاصة ما يختص بالمجموعات الميكروبية الهامة والمرتبطة بخصوبة التربة وكذا بعض المجموعات الميكروبية الواسعة الانتشار في التربة :

١ - للريزوسفير تأثيراً مشجعاً على البكتيريا السالبة لجرام وخاصة بالأجناس *Arthrobacter*, *Xanthomonas*, *Pseudomonas*
٢ - وجد أن الأنواع *Bacillus brevis* , *Bacillus circulans* , *B. polymyxa* أكثر إنتشاراً في الريزوسفير ، عن التربة البعيدة عن الجنور.

٣ - تختلف إستجابة أفراد جنس *Azotobacter* لتأثير الريزوسفير باختلاف النبات النامي وكذلك عمره . وبصفة عامة فـلقد تبين أن ميكروبات *Azotobacter* , *Azospirillum* , *Bacillus polymyxa* تلعب دوراً هاماً في تثبيت النيتروجين للجوي في ريـزوسفير النجيليات خاصة قصب السكر والذرة والقمح.

٤ - من أكثر الميكروبات أستجابة للتأثير المشجع للريزوسفير هي بكتيريا النشطرة *Ammonifying bacteria* حيث تصل نسبة الـ R:S لها إلي عدة مئات وتفسير ذلك هو وجود مركبات نيتروجينية بنسبة عالية في هذه المنطقة حيث تقوم هذه البكتيريا بمعنتها *Mineralization* . وعلي الرغم من ذلك فقد لوحظ أن كمية المعدن لمركبات النيتروجين العضوية في التربة المنزعة أقل من التربة غير المنزعة . ولقد فسّر ذلك على أساس النشاط الزائد للميكروبات في منطقة الريزوسفير وقيامها بعملية تمثيل المركبات النيتروجينية في أجسامها *Immobilization* .

٥ - للريزوسفير تأثير مشجع علي بكتيريا تحليل السليلوز ، وأكثر الأنواع وجوداً في منطقة الريزوسفير هي . " *Cytophaga spp* " والبكتيريا العصويات القصيرة المحللة للسليلوز.

٦ - بخصوص تأثير الريزوسفير علي الفطريات ، فقد ثبت أن الفطريات توجد في هذه المنطقة علي حالة ميسيليومية نشطة حيث تشجع إفرزات الجذور إنبات الجراثيم الفطرية ونمو الميسيليوم الخضري ، بل أن جراثيم بعض الفطريات لا تثبت إلا في وجود جنور نباتات معينة . ونظراً لوجود أغلب الفطريات في منطقة الريزوسفير في الحالة الخضرية النشطة ، فإن تقدير أعداد الفطريات بطريقة الأطباق لا يظهر أن للريزوسفير تأثير مشجع واضح علي الفطريات ، ولكن إذا نظرنا لأثر الجذور علي الكتلة الحيوية للفطريات فإن النتائج توضح أن هناك تأثيراً مشجعاً واضحاً علي الفطريات . وعلاوة علي ذلك فإن تأثير الجذور يؤدي إلي تغيير في الأجناس السائدة حول الجذور مقارنة بالتربة البعيدة وبالطبع يكون لجنور النباتات تأثيراً مشجعاً علي فطريات الميكوريزا *Mycorrhizae* الخاصة بهذه النباتات.

٧ - تأثير الريزوسفير علي الطحالب لا تزال النتائج الخاصة به غير واضحة الاتجاه .

٨ - بخصوص البروتوزوا ، فالدراسات تشير إلي زياده أعدادها في الريزوسفير ، ويمكن تفسير ذلك علي أساس أن البروتوزوا تتغذي علي البكتيريا ومن ثم فإن الزيادة في أعداد البكتيريا في الريزوسفير يصحبه زيادة في أعداد البروتوزوا.

التركيب الكيميائي لإفرازات الجذور:

أجريت دراسات عديدة علي التركيب الكيميائي لإفرازات الجذور التي يعزي إليها أغلب التأثير المشجع للميكروبات في منطقة الريزوسفير، ووجد أن السكريات والأحماض الأمينية تكون الجزء الأكبر من هذه الإفرازات هذا إلي جانب وجود مركبات أخرى بكميات قليلة مثل فيتامينات ، إنزيمات ، جلوكوسيدات ، نكليوتيدات ، فلافينات ، لوكسينات ، إندولات....الخ.

من الأحماض الأمينية والمركبات الشبيهة التي تفرزها الجذور وجد حمض الجلوتاميك ، أسبارجين ، حمض أسبارتيك ، ألانين ، ليوسين ، أرجينين ، جليسين / حمض بارلمينوبيوتريك ، بيتا ألانين ، ايزوسيرين ، فينيل ألانين، سيستين ، سيستئين، برولين، ميثونين، ليسين، تربوفان ، نيروزين ، ثريونين . وعموما فإن المركبات السائدة من هذه المواد تختلف باختلاف نوع النبات وحالته وأن هذه الاختلافات تعتبر عامل مؤثر علي الفلورا في منطقة الريزوسفير مما يؤدي إلي اختلافات واضحة في تركيب العشرة (المجتمع) الميكروبية كما ونوعاً بين النباتات المختلفة .

كما بينت الدراسات وجود عديد من السكريات في إفرازات الجذور منها جلوكوز ، فركتوز ، سكروز ، مالتوز ، أرابينوز ، رافينوز ، رامنوز وهذه السكريات تلعب دوراً هاماً في تشجيع الميكروبات في الريزوسفير .

وثبت أيضاً وجود حوالي ١٠ أحماض عضوية في إفرازات الجذور وكثير من عوامل النمو Growth factors مثل كولين ، بيريدوكسين ، ثيامين، بيوتين ، نياسين ، بانتوثينات . كما لوحظ وجود بعض الأوكسينات Auxins والإنزيمات والمركبات الفسفورية العضوية وغيرها . كما تبين أن

الجنور تفرز علاوة علي ما سبق موادا لها تأثيرات مثبطة مثل المركبات الفينولية . وجدول رقم ١١ يلخص حصراً للمواد التي وجدت في ريزوسفير نباتات نامية تحت شروط تعقيم.

جدول رقم ١١ : المواد التي تفرزها نباتات نامية تحت ظروف تعقيم

المجموعة الكيميائية	المركبات المفردة
أحماض أمينية	تقريباً كل الأحماض الأمينية التي توجد طبيعياً
أحماض عضوية	خليك ، بيوتريك ، ستريك ، فيوماريك ، لاکتيك ، ماليك ، أكساليك ، بروبيونيك ، سكسينيك ، فاليريك ، طرطريك
كربوهيدرات	أرابينوز ، ديزوكسي ريبوز ، فركتوز ، جلاكتوز ، جلوكوز ، مالتوز ، مانوز ، رافينوز ، ريبوز ، سكروز ، زيلوز - علاوة علي بعض عديدات السكر
قواعد عضوية	أدنين ، جوانين ، سيتوزين ، يوريدين
عوامل نمو	بارأمينيوبنزوات ، بيوتين ، كولين ، اينوسيتول ، حمض نيكوتينيك ، بانتوثينات ، بيريدوكسين ، ثيامين
إنزيمات	أميليز ، إنفرتيز ، فوسفاتيز ، بروتينيز
مركبات أخرى	أوكسميانات ، جلوتامين ، جلوكوسيدات ، حمض هيدروسمياتيك ، باراهيدروكسي بنزوات ، بيتيدات ، صابونين

تأثير ميكروبات الريزوسفير على النبات

Effect of rhizosphere microflora on plant

ثبت أن العلاقات بين ميكروبات الريزوسفير وجذور النباتات تكون متعددة ومتنوعة ، فمنها جوانب مفيدة ومنها جوانب ضارة ، كما أن لهذه الميكروبات علاقة كبيرة بأمراض النباتات ، وسوف نناقش كل منها فيما يلي:

أ - التأثيرات المفيدة لميكروبات الريزوسفير على النباتات :

ثبت من دراسات عديدة دور الميكروبات في إذابة الفوسفات غير الذائبة في التربة ، وبالتالي تيسيرها للنباتات ، كما اتضح دور الميكوريزا Mycorrhizae في امتصاص النبات للفوسفور والبوتاسيوم ، كما أن ميكروبات الريزوسفير تزيد من تيسير Availability الحديد والمنجنيز للنبات . وقد يفسر دور ميكروبات الريزوسفير في يسر هذه العناصر المعدنية علي أساس المركبات العضوية التي تكونها أثناء عمليات التمثيل الغذائي ، وهذه المركبات تكون معقدات مع العناصر المعدنية أو تعمل عمل المركبات المخلبية Chelating compounds في تسهيل دخول هذه العناصر إلي النبات . وأوضحت كثير من الأبحاث أن كثير من ميكروبات الريزوسفير تكون مواداً بيولوجية لها تأثيرات مشجعة لنمو النباتات ، فقد ثبت أن الكثير من هذه الميكروبات له المقدرة علي إفراز Gibberelins auxins، والمواد الشبيهة . ومثل هذه المركبات معروف دورها في تشجيع إنبات البذور وتكون الشعيرات الجذرية وزيادة نمو النباتات وقابليتها علي امتصاص العناصر .

كما تبين أن ميكروبات الريزوسفير لها تأثير مفيد على العلاقة التكافلية بين بكتيريا العقد الجذرية وجذور النباتات البقولية حيث ثبت أن بعض سلالات الرايزوبيا Rhizobia لا تكون فعالة في الظروف المعقمة ، ولكنها تكون فعالة في وجود ميكروبات الريزوسفير العادية .

ب = التأثيرات الضارة لميكروبات الريزوسفير على النباتات :

Injurious effects of rhizosphere microflora on plants

هناك أعداداً كبيرة من ميكروبات الريزوسفير ذات نشاط تمثيلي عالي في المنطقة التي تمتص النباتات منها غذائها ، الأمر الذي قد يكون له في بعض الأحوال تأثيرات ضارة على نمو النباتات خصوصاً عندما تتنافس هذه الميكروبات مع النباتات على بعض العناصر الضرورية الموجودة بكمية محدودة في التربة أو الأكسجين . وهناك اعتقاد بأن ميكروبات الريزوسفير تنافس النبات في إمتصاص النيتروجين من التربة ، حيث تأخذ هذه الميكروبات جزء من النيتروجين الممتد في التربة وتستخدمه في بناء أجسامها من خلال عملية الـ Immobilization . ولقد لوحظت علاقات مشابهة مع عناصر غذائية أخرى ، فمثلاً ثبت أن بعض ميكروبات الريزوسفير تؤكسد عنصر المنجنيز مما يقلل من تيسيره للنبات .

كما ثبت من بعض الدراسات أن المولد الحيوية التي تكونها الميكروبات في منطقة الريزوسفير قد تكون لها تأثيرات ضارة على نمو النباتات في بعض الأحوال ، وقد لوحظ مثل هذه التأثيرات للتوكسينات Toxins ومضادات الحيوية Antibiotics وغيرها . كما ثبت أن بعض الميكروبات تفرز مواداً سامة للنباتات ، وتكون هذه المولد السامة يكون عادةً مرتبطاً بوجود مادة عضوية سهلة التحلل مع نقص في التهوية .

ج = علاقة ميكروبات الريزوسفير بأمراض النبات

Relationship between rhizosphere microflora and plant diseases

ميكروبات الريزوسفير عادة غير ممرضة ، ولكن العلاقات بين هذه الميكروبات ومواء التشجيعية أو التنافسية في منطقة الريزوسفير قد يكون لها أهمية خاصة بالنسبة للميكروبات الممرضة للنباتات ، لأن هذه الميكروبات الممرضة سوف تخترق منطقة الريزوسفير حتى تصل إلى النبات وتبدأ في عملية الإصابة . والعلاقة الميكروبيولوجية في الريزوسفير قد تؤدي إلى إبطاء أو إحباط نمو الميكروب الممرض أو في ظروف أخرى قد تؤدي إلى تنشيطه.

ومن المعروف أن كثيرا من الميكروبات الممرضة للنباتات تقضي جزءاً من حياتها في التربة ، مما يعرضها للتأثيرات المضادة للميكروبات التي تعيش في التربة وخصوصاً ميكروبات الريزوسفير . ويعود للتأثير المثبط لميكروبات التربة علي نمو الميكروبات الممرضة للنبات إلى واحد أو أكثر من العوامل التالية :

- ١ - التأثير المباشر نتيجة التطفل.
- ٢ - تكوين مضادات حيوية .
- ٣ - إنتاج أحماض بما يغير الـ pH إلى الدرجة التي لا تناسب الميكروبات الممرضة.
- ٤ - التنافس علي العناصر الغذائية.
- ٥ - تنشيط المناعة في النبات العائل.

ومن الملاحظات التي تشاهد بكثرة أن فطريات التربة الممرضة Soil borne pathogenic fungi تكون أشد ضراوة بالنبات في التربة المعقمة عن تلك غير المعقمة.

وفي دراسة جادة أجريت إتضح منها أنه عندما ينمي *Xanthomonas sp.* مع *Fusarium solani* مسبب مرض تعفن الجذور Root rot في مزرعة خليطة فإن الأول يكون مستعمرات كثيفة علي هيفات الفطر وتؤدي تلك العملية إلي حدوث تجمع الميسيليوم وتلونة بلون وردي ثم يموت الفطر . ولقد إتضح من نفس الدراسة أن إفرزات جذور الذرة تعمل علي تشجيع نمو *Xanthomonas spp* علي حين لا يحدث مثل هذا التشجيع من قبل إفرزات جذور الشعير ، وعلي ذلك لوحظ أن شدة مرض تعفن الجذور المتسبب عن الفيوزاريوم *Fusarium sp* تكون أقل في التربة التي كانت منزرعة سابقاً بالذرة من قبل زراعة النبات الحساس لتعفن الجذور .

كما تم التوصل إلي تفسير للتأثير المثبط لفطريات الـ *Endomycorrhizae* علي الكائنات الممرضة للجذور ، حيث أنه يغزو الميكوريزا للجذور . تحدث بها تغيرات فسيولوجية تزيد من مقاومتها للكائنات الممرضة مثل فطر *Fusarium oxysporum* في جذور الطماطم ونيماتودا *Meloidogyne incognita* في جذور القطن .

وهناك اعتقاد بأن اختلاف أصناف النبات الواحد في قابليتها للإصابة بالأمراض ربما يرجع إلي الاختلاف في طبيعة إفرزات جذور هذه الأصناف مما يسبب إختلافاً واضحاً في ميكروبات الريزوسفير لهذه الأصناف ، وهذا بدوره ينعكس علي نشاط الميكروب الممرض .

ولقد لوحظ أن أصناف الكتان المقاومة للأمراض تفرز جنورها مادة linamarin والتي عند تحللها بواسطة ميكروبات الريزوسفير يتكون سيانور الهيدروجين Hydrogen cyanide والذي يحبط نمو الميكروبات الممرضة مثل فطريات *Helminthosporium* , *Fusarium*

ثانياً: ميكروبيولوجيا المنطقة المحيطة بسطح الأوراق "الفيللوسفير"

Microbiology of Phyllosphere

المنطقة الملاصقة للسطح الخضري للنبات خاصة أسطح الأوراق تمثل وسطاً مناسباً لنمو الميكروبات عليها من حيث وجود رطوبة وحرارة مناسبة مع مورد مستمر من المواد الغذائية ، فسطح الأوراق مثلها كمثل الجذور تفرز الكثير من المواد مثل السكريات أو الكربوهرات والأحماض الأمينية والمواد المنشطة للنمو مثل مشتقات حمض الجبيريليك و غيرها من المواد التي تشجع نمو الميكروبات . وكذلك تجد الميكروبات المثبتة للنيتروجين الجوي ظروفاً مناسبة لنموها لكثير من غيرها من الميكروبات . وعموماً فإن الأنوار التي تلعبها ميكروبات الفيللوسفير (سطح الورقة) تكون متعددة حيث أن منها المتروم غير الضار الذي يقوم بتحليل الشموع النباتية أو ما يقوم بإفراز عوامل النمو ومنها ما يضاد الميكروبات الممرضة ويحد من أثرها ومنها ما يثبت النيتروجين ومنها الضار الذي يمرض النبات العائل ويسبب له أضراراً عديدة .

Phyllosphere microorganisms ميكروبات الفيللوسفير

يمكن تلخيص نتائج الدراسات التي أجريت في هذا المجال فيما يلي :

١. يوجد علي سطوح أوراق النبات العديد من الميكروبات التي تنمو وتتكاثر في تتابع وإتزان ديناميكي مع الوسط المحيط.
٢. تحتوي سطوح الأوراق في طور البادرات علي أقل عدد من الميكروبات، ويزيد العدد بازدياد عمر النبات ، ويصل أقصاه عند نضج النبات وبدء أصفرار الأوراق ويعود ذلك إلي أن إفرازات الأوراق للمشجعة لنمو

الميكروبات تزيد بازدياد عمر الأوراق ثم تقل الأعداد عند مرحلة تكوين البذور

٣. أكثر أنواع الميكروبات وجودا علي سطوح الأوراق هي البكتيريا يليها الخمائر خاصة المنتجة للصبغات *Pigmented yeasts* ثم الفطريات ثم الأكتينومايساتات . أما الطحالب فوجودها شائع علي أوراق النباتات الاستوائية وعلي جذوع وفروع أشجار المناطق المعتدلة ولكنها نادرة الوجود علي أوراق نباتات المناطق شبة الاستوائية . ومن حيث الفيروسات المتطفلة علي البكتيريا والفطريات الموجودة علي سطوح الأوراق فإن نورها غير معروف تماما حتي الآن.

٤. تحتوي سطوح الأوراق *Phyllosphere* خاصة في المناطق الحارة والأستوائية علي أعداد كبيرة من الميكروبات تصل إلي ٧١٠ / سم^٢ للبكتيريا ، ١٠ / سم^٢ للفطريات ، ١٠ / سم^٢ للأكتينوبومايساتات.

٥. قد تصل أعداد الأزوتوباكتر *Azotobacter* إلي ٧١٠ / سم^٢ ومن الأنواع الشائعة من هذا الجنس *Az.vinelandii* ، *Az.chroococcum*

٦. وجدت اليـ *Beijerinckia* spp. بكثافة تصل إلي ٢ × ٧١٠ / سم^٢ أحيانا.

٧. من الميكروبات المثبتة للنيتروجين بكمية قليلة *Asymbiotic oligonitrogen fixing bacteria* والتي وجدت علي سطوح الأوراق ما يلي: *Azomonas* , *Azospirillum* , *Klebsiella* , *Bacillus* , *Mycobacterium*

٨. بالإضافة لهذه البكتيريا ، فقد وجد أيضا علي سطوح الأوراق أنواعا ميكروبية تتبع لـ : *Pseudomonas* , *Achromobacter* ,

Flavobacterium , *Cladosporium* , *Micrococcus* علاوة على وجود طحالب وخمائر وفيروسات علي أسطح الأوراق.

ومن أهم الخمائر التي عزلت من منطقة الفيلوسفير بالأراضي المصرية هي الخمائر غير المتجترمة خاصة : *Cryptococcus albicans* ، *Rhodotorula glutinis* . وتمتاز الخمائر الملونة (*Rhodotorula*) باحتوائها علي صبغات كاروتينية تحميها من التأثير الضار لأشعة الشمس والأشعة فوق البنفسجية . أما خمائر الـ *Cryptococcus* فإن لها كبسولة تحميها . وبصفة عامة تمثل الخمائر غير المتجترمة حوالي ٧٠ - ٨٠% من أنواع الخمائر المعزولة من الفيلوسفير ، أما الخمائر المكونة لجراثيم أسكية فإن أعدادها قليلة جداً . ولقد ثبت أن بعض الميكروبات تصل إلي سطوح الأوراق والأجزاء النباتية الهوائية من التربة والماء والحشرات والطيور والحيوانات الأخرى لذلك وجب التمييز بين الميكروبات القاطنة Resident والميكروبات المنقولة Transient .

تتأثر أعداد وأنواع الميكروبات الموجودة علي سطوح الأوراق بعوامل عديدة ، منها نوع النبات و عمره ، الظروف المناخية مثل حرارة ، مطر ، رياح ، ... الخ ، الفصل من السنة Season ، للمعاملة الزراعية. وجد أن باستعمال مولا كيميائية مثلا يؤثر علي الإتران الميكروبي الموجود علي سطوح الأوراق إما مباشرة بالتأثير علي الميكروبات نفسها أو بطريقة غير مباشرة بإحداث تغيير في فسيولوجيا النبات للعائل . وبصفة عامة فإن التأثير علي الميكروبات قد يكون مفيداً كتقليل عدد الميكروبات الممرضة أو ضاراً إذا ما أضيفت ميكروبات ممرضة جديدة . كما يتأثر عدد الميكروبات وأنواعها بنوعية المواد المفترزة من الأوراق ، فقد تكون هذه المواد مشجعة

للنمو ، وقد تكون في بعض الأحيان مثبتة مثل مركبات الفينول والأحماض التي تحفز الـ pH وغيرها من المواد . وفي المناطق للمطر ، فإن أغلب افرازات الأوراق والميكروبات النامية عليها تسقط إلى التربة حيث تزيد من نشاط وكفاءة ميكروبات التربة .

وعموماً فإن نمو ميكروبات الفيلوسفير وكذلك ما تحتويه سطوح الأوراق من إفرازات تعتمد على الظروف المناخية بالمنطقة ، فالحرارة المرتفعة مع توفر الندي كما يحدث في المناطق المدارية تعتبر عاملاً مشجعاً لميكروبات الفيلوسفير في كثير من النباتات . والشكل رقم ٨ يوضح العلاقات التبادلية بين ميكروبات سطح الأوراق والورقة نفسها .

تثبيت النيتروجين في منطقة الفيلوسفير

Nitrogen fixation in phyllosphere

تصل الميكروبات المثبتة لنيتروجين الجو إلى سطح الأوراق من الوسط المحيط بالنبات كالهواء والأتربة وغيرها . وتجد هذه الميكروبات على الفيلوسفير وسطاً مناسباً لنموها ولتثبيت النيتروجين . ومن المعروف أن أفراد جنس *Phyllobacterium* وهو أحد أجناس عائلة *Rhizobiaceae* تكون عقداً *Foliar nodules* على أوراق بعض النباتات التابعة لعائلة: *Rubiaceae & Myrsinaceae* . وفي هذه العقد الورقية *Foliar nodules* تعيش الميكروبات في حالة تكافلية مع تلك النباتات .

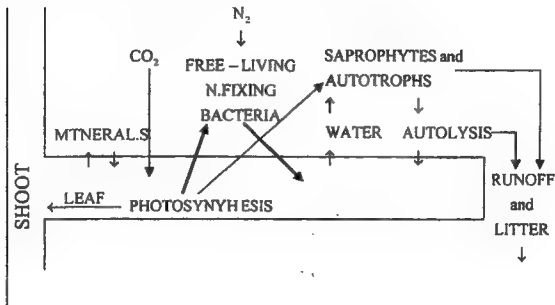


Fig. 8 : Diagrammatic representation of possible interactions between phylloplane microorganisms and leaf

وأغلب هذه النباتات التي يوجد بها العقد الورقية عبارة عن نباتات إستوائية أو شبة إستوائية ، وقد يعود ذلك إلي أن هذه النباتات تمتاز بإحتواء أوراقها علي أعداداً كبيرة من الكائنات الدقيقة الأمر الذي يمهّد لقيام علاقات تكافلية بينهما.

وفي النباتات التي تكون عقدا ورقية (بعضها موضح بالجدول رقم ١٢) ، فإنه يعتقد أن البكتيريا الموجودة في الإفرازات اللازجة تتدخل الأوراق عن طريق الثغور أو من فتحات خاصة علي حافة الورقة ومنها إلي الخلايا المجاورة التي تنشط وتزداد في الحجم و تكون العقد Nodule . وأغلب هذه البكتيريا (المتكافل الصغير Micro-symbiont) من أنواع عصوية سالبة لجرام متحركة ، وهي تمد النبات ببعض العناصر الغذائية وبعض المواد المنشطة للنمو مثل السيٲوكينين ولكن قدرة هذه البكتيريا علي تثبيت

النيتروجين لا تزال موضع نقاش أي لم يثبت بشكل قاطع أنها قادره علي تثبيت النيتروجين .

ومن الأشجار التي عزلت من أسطح أوراقها ميكروبات مثبتة للنيتروجين ما يلي: Fir - Larch - Cyprus - Pine - Oak - Beach - Alder - Sycamore.

وهناك اعتقادا يفتر إلي مزيد من الأدلة بأن هذه الميكروبات تقوم بتثبيت النيتروجين إلي صورة الأحماض الأمينية (جلوتاميك وأسبارتيك) تستفيد منها الميكروبات المجاورة أو تمتص بواسطة النبات مباشرة أو ينساب إلي الأرض .

جدول رقم ١٢ : بعض النباتات مغطاة البذور التي تتكون بها عقداً بكتيرية علي الأوراق.

Family	Genus	Nodulated sp.
Rubiaceae	<i>Pavetta</i>	<i>grandiflora indica</i> <i>zimmermanniana</i>
	<i>Psychotria</i>	<i>calva</i> <i>punetala</i>
Myrsinaceae	<i>Artemisia</i>	<i>crispa</i>
Dioscoreaceae	<i>Dioscorea</i>	<i>macroura</i>

والبكتيريا داخل العقد تمر بمراحل متعددة منها العصوي القصير المتحرك ، والعصوي الطويل غير المتحرك ، وطور ~~معدد الأشكال~~ (باكثيرويد) . ومن البكتيريا المعزولة من العقد الورقية :

Bacillus folliicola, *Xanthomonas horticola*,
Klebsiella rubiacearum

ويختلف عدد العقد علي الورقة باختلاف نوع النبات ، حيث قد يصل عدد العقد علي سطح الورقة في بعض الأنواع إلي ٢٠٠ عقدة .

الفصل الرابع :

التحولات الميكروبية للمركبات الكربونية
في التربة الزراعية

**Microbial Transformations of
Carbon Compounds in Soil**

الفصل الرابع

التحولات الميكروبية للمركبات الكربونية في التربة الزراعية

Microbial Transformations of Carbon Compounds in Soil

تصل المواد العضوية إلى التربة الزراعية من مواد عديدة ، وتعتبر البقايا النباتية سواء من مصادر نباتية أو حيوانية . وهذه الأخيرة تتفاوت في تركيبها كما هو واضح في جدول رقم ١٣ .

أما التركيب الكيميائي للبقايا النباتية، وهي المصدر الأساسي للمواد العضوية التي تضاف للتربة فتختلف من نبات لآخر، بل أن هذا التركيب يختلف في النبات الواحد باختلاف العمر . وفي الجدول رقم ١٤ بيان بمفردات التركيب الكيميائي للبقايا النباتية مقارنة بالأسمدة العضوية .

Organic manures

وعندما تصل المواد العضوية إلى التربة الزراعية أو تضاف إليها ، فإنها تتعرض مباشرة للنشاط البيولوجي حيث تقوم الميكروبات بتحليلها للحصول على الطاقة أو لتمثيل مكوناتها لبناء خلايا ميكروبية جديدة. ومكونات المادة العضوية المضافة لا تتحلل كلها بسرعة واحدة ، فالمواد القابلة للذوبان في الماء أسرعها في التحلل ، يليها النشا والسليلوز ثم الهيميسليلوزات ، ويعتبر اللجنين أبطأها في سرعة التحلل . وعادة ما يلاحظ أنه بعد فترة التحلل السريع أن يبطأ معدل التحلل وتخفئ الأنسجة النباتية وتتكون مادة عضوية لها صفات جديدة ، حيث يدخل في تركيبها المواد المقاومة للتحلل ونواتج التمثيل الغذائي للميكروبات في تركيب معقد هو الدبال Humus.

Table 13 : Composition of Crude organic Manures and and Composts

Crude Wastes	As a percentage of total dry matter % من المادة الجافة				
	Mineral matter	Organic Matter	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Farmyard manure	36	64	2.2	1.6	2.0
Raw sludge	49	51	2.4	1.3	0.3
Digested sludge	56	44	2.6	2.2	0.4
Pulverized town refuse	55	45	0.89	0.62	0.43
Fine dust from refuse	76	24	0.48	0.29	—
Sewage sludge-refuse composts	50-55	4s -50	4.0-1.3	0.5-0.6	0.3-0.35

Table 14 : Composition of Organic Matter

Fraction	% In dry weight	
	Plant	Manures
Hot /cold water solubles – sugars, starches, amino acids, aliphatic acids, urea, and ammonium salts.	5 – 30	2 – 20
Ether/ Alcohol Solubles – fats, oils, waxes, and resins.	5 – 15	1 – 3
Proteins	5 - 40	5 – 30
Hemicelluloses	10 – 30	15 – 25
Cellulose	15 – 60	15 – 30
Lignin	5 – 30	10 – 25
Minerals (Ash)	1 - 13	5 – 20

والمادة العضوية الكربونية عندما تتعرض للفعل الميكروبي فإن نسبة كبيرة من هذه المواد الكربونية تتحول إلى CO_2 نتيجة للأكسدة البيولوجية وبذلك يحدث نقص في محتوى التربة من الأكسجين ويزيد محتواها من CO_2 وعلى ذلك ينخفض جهد الأكسدة والاختزال للتربة ويصبح الوسط مختزلاً.

وتعتمد سرعة تحلل المادة العضوية في التربة أساساً على نسبة الكربون إلى النيتروجين C/N ratio فإذا كانت المادة العضوية غنية بالنيتروجين تكون نسبة C/N ضيقة (Narrow C/N) فإن الميكروبات التي تقوم بتحليلها تجد فيها ما يكفيها من النيتروجين لبناء أجسامها وبذلك تكون عملية التحلل نشطة ، أما إذا كان العكس أي أن نسبة C/N واسعة (Wide C/N) فإن عملية التحلل تكون بطيئة ، وفي هذه الحالة فإن إضافة مصدر نيتروجيني خارجي يسرع من معدل التحلل. وبالرغم من أن عملية التحلل تكون أسرع في المادة العضوية الغنية بالنيتروجين عن تلك الفقيرة إلا أن معدل الفقد في الكربون في النهاية يكون أقل فيها وكمية الدبال المتكونة تكون أكبر كما هو واضح في جدول رقم ١٥ .

وتحتوي أجسام الميكروبات في المتوسط على ٥٠ % كربون تستمد من الوسط التي تنمو فيه. وتسمى عملية بناء الكربون في أجسام الميكروبات بتمثيل الكربون Carbon assimilation وتحت الظروف الهوائية فإن ميكروبات التربة الزراعية عموماً تستخدم حوالي ٢٠-٤٠ % من كربون المادة العضوية التي تحللها لبناء أجسامها والباقي يتحول إلى CO_2 أو إلى نواتج ثانوية أخرى لعملية التمثيل. وتعتبر الفطريات أكثر كفاءة عن غيرها من الميكروبات في تمثيل المادة العضوية الكربونية لبناء أجسامها إذ تمثل ٣٠-٤٠ % من كربون المادة العضوية أما البكتيريا الهوائية فتمثل ٥-

١٠% فقط ، في حين تمثل البكتيريا اللاهوائية ٢-٥ % فقط من كربون المادة العضوية حيث أنها أقل كفاءة في إستخدام الغذاء للكربوني.

Table 15 : Some Nitrogen Contents and carbon / Nitrogen Ratios of ompostible Materials

Material	Nitrogen % dry weight basis	C/N ratio
Dried blood	10 - 14	(3 - 4) : 1
Urine	15 - 18	0.8 : 1
Hoof and Horn meal	12.0	—
Night soil , Dung	5.5 - 6.5	8 : 1
Bone Meal	4	8 : 1
Brewers wastes	3 - 5	15 : 1
Farmyard manure	2.2	14 : 1
Water hyacinths	2.2	20 : 1
Pigeon Pea stalks	0.7	70 : 1
Millet stalks	0.7	70 : 1
Wheat straw	0.6	80 : 1
Coconut fiber waste	0.5	300 : 1
Rice straw	0.4	100 : 1
Sugarcane trash	0.3	150 : 1
Fish scrap	6.5 - 10	—
Purslane	4.5	8 : 1
Poultry manure	4.4	—
Young grass clippings	4.0	12 : 1
Fresh sewage (dried)	3.5 - 4.0	—
Sheep manure	3.4	—
Amaranthus	3.62	11 : 1
Cabbage	3.58	12 : 1
Tomato	3.33	12 : 1
Cow manure	3.1	—
Tobacco	2.99	13 : 1

Onion	2.63	15 : 1
Pepper	2.56	15 : 1
Cocksfoot	2.54	19 : 1
Lucerne	2.4 - 3.0	(20 - 16) : 1
Sewage sludge(Dried)	2.7	10 : 1
Kentucky bluegrass	2.41	19 : 1
Turnip tops	2.32	19 : 1
Pig manure	2.2	
Buttercup	2.17	23 : 1
Grass	4.0	20 : 1
Ragwort	2.15	21 : 1
Raw garbage	2.0	25 : 1
Seaweed	1.92	19 : 1
Red clover	1.76	27 : 1
Horse manure	1.7	
Whole carrot	1.57	27 : 1
Mustard	1.51	26 : 1
Potato tops	1.48	25 : 1
Fern	1.13	43 : 1
Oat straw	1.03	48 : 1
Whole swede turnip	1.0	44 : 1
Flax waste (phormium)	0.97	58 : 1
Timothy	0.86	58 : 1
Browntop	0.86	55 : 1
Wheat straw	0.32	128 : 1
Rotted sawdust	0.35	208 : 1
Raw sawdust	0.11	510 : 1
Paper	nil	infinity

والأرقام السابقة قد يكون لها أهمية خاصة من وجهه نظر تغذية النبات وخصوبة التربة إذ أن الميكروبات عند تمثيلها للكربون الموجود بالمادة العضوية لبناء أجسامها ، لا تبني خلاياها من الكربون فقط ، ولكنها

تحتاج أيضا إلى نيتروجين ، فسفور ، كبريت ، بوتاسيوم وغيرها من العناصر الضرورية لنموها تأخذها من المادة العضوية المتحللة.

فإذا كانت المادة العضوية الخاضعة للتحلل غنية بهذه العناصر فإن الميكروبات القائمة بالتحلل تأخذ منها ما يكفيها والباقي يحدث له "معدنة Mineralization" ، وبذلك يتحول من الصورة العضوية إلى الصورة المعدنية الميسرة للنبات. أما إذا كانت المادة العضوية فقيرة في هذه العناصر ، فإن الميكروبات تلجأ إلى العناصر الموجودة في التربة في صورة ميسرة Available form وتأخذها لبناء أجسامها ، وبذلك تحولها من الصورة المعدنية إلى الصورة العضوية غير الميسرة للنبات - وتسمى هذه العملية بـ "Immobilization" .

C : N ratios	→ 5:1	→ Bacteria
	→ 10:1	→ Fungi
	→ 6:1	→ Actinomycetes

وعلى ذلك فإنه أثناء تحلل المادة العضوية ، فإن الميكروبات تمثل جزء من محتواها النيتروجيني لبناء أجسامها وما تبقى بعد ذلك يخرج في التربة في صورة أمونيا (NH_3) كناتج أساسي لتحلل البروتين حيث تسمى تلك العملية "النشطرة Ammonification" . وتلعب نسبة الـ C : N دورا رئيسيا في معدنه النيتروجين العضوي فإذا كانت هذه النسبة متسعة Wide فمعنى ذلك أن الميكروبات أثناء تحليلها للمادة العضوية وبناء خلاياها لن تجد النيتروجين الكافي للبناء ، لذلك فإنها تأخذ كل النيتروجين الموجود في المادة العضوية لبناء أجسامها ولا تحدث معدنة Mineralization . وإذا لم يكفيها فإنها تأخذ النيتروجين الموجود في التربة الزراعية في صورة معدنية (NH_3)

أو (NO_3^-) - وتسمى هذه العملية أي تحويل النيتروجين المعنني الموجود في التربة إلى نيتروجين عضوي في أجسام الميكروبات بالـ *Immobilization* وفي هذه الحالة فإن التربة للزراعية تعاني نقصاً مؤقتاً في النيتروجين الصالح لتغذية النبات . أما إذا كانت الـ C/N ضيقة *Narrow* أي أن المادة العضوية غنية بالنيتروجين فإن الميكروبات تجد فيها ما يكفيها لبناء خلاياها والباقي يحدث له عملية معدنة إلى أمونيا. مما يزيد من كمية النيتروجين الذائب المعنني الصالح للنباتات.

وعادة فإن المواد العضوية الطبيعية تحتوي علي حوالي ٤٠ % كربون. وتعتبر النسبة الحرجة للنيتروجين في مثل هذه المواد ما بين (١,٢-١,٨%) فإذا كانت نسبة النيتروجين في المادة العضوية أقل من هذا المستوي الحرج فإنه تحدث عملية الـ *"Immobilization"* ، أما إذا كانت مرتفعة عنها - تحدث عملية الـ *Mineralization* ولتوضيح ذلك :

فإنه من المعروف أن الفطريات عند تحليلها للمواد العضوية فإنها تمثل ما بين ٢٠-٥٠ % بمتوسط قدرة ٣٥% من كربون المادة العضوية في أجسامها والباقي يتحول إلى CO_2 & H_2O أو ويبقى في التربة الزراعية في تركيب "الدبال *Humus*". والبكتيريا عند تحليلها للمواد العضوية تمثل ١-٣٠% من كربون المادة العضوية (بمتوسط ٧%) بداخل أجسامها.

فإذا حرثنا مثلاً ١٠٠ كيلو جرام من مادة كربوايدراتيه مثل السليلوز في التربة حيث من المعروف أن السليلوز يحتوي ٤٥ % كربون وعلي اعتبار أن الفطريات هي القائمة بالتحليل فإنها تمثل من هذه الكمية $35 \times \frac{45}{100} = 15.75$ كيلو جرام كربون. وكمية النيتروجين اللازمة لبناء

خلايا هذه الميكروبات للفطرية $15.75 \times \frac{1}{10} = 1.575$ كيلو جرام . أي أن تحلل ١٠٠ كيلو جرام سليلوز خال من النيتروجين طبعاً بواسطة الفطريات يؤدي إلي تمثيل "Immobilization" لـ 1.575 كيلو جرام من النيتروجين المعدني الموجود بالتربة للزراعية .

أما إذا حرقنا في التربة الزراعية ١٠٠ كيلو جرام برسيم حيث به ٤٠% كربون ، ٢,٥% نيتروجين فإننا نجد أن الفطر بإعتباره هو القائم بالتحلل مثلاً يمثل من كربون المادة المضافة ما يساوي $35 \times \frac{40}{100} = 14$ كيلو جرام كربون. وهذه للكمية من الكربون الممثل في أجساد الفطريات يلزمها $14 \times \frac{1}{10} = 1.4$ كيلو جرام نيتروجين. وبما أن المادة العضوية المضافة للتربة الزراعية مثل البرسيم تحتوي علي ٢,٥ كيلو جرام نيتروجين فإنه تحدث معدنة Mineralization لـ ١,١ (١,٤-٥,٥) كيلو جرام نيتروجين. ومن المعروف أن النقص في النيتروجين المعدني في التربة الزراعية ينتجه عملية "Immobilization" عبارة عن نقص مؤقت حيث أن الميكروبات لا تثبت أن نموت وتحلل ، ولذلك فإنه عند إستخدام مادة عضوية فقيرة في النيتروجين ، فإنه يجب إضافتها للتربة قبل الزراعة بفترة كافية حتي لا تعاني النباتات النامية نقصاً في النيتروجين للميسر Available nitrogen .

تحلل المواد العضوية الكربونية المختلفة في التربة الزراعية :

Degradation of different carbon compounds in soil

بعد إضافة المواد العضوية مباشرة إلى التربة ، فإن أول المركبات التي تدخل في التفاعلات الحيوية في التربة هي المواد الذائبة في الماء حيث تستخدمها ميكروبات التربة بسرعة كبيرة . وتتضمن المواد الكربونية الذائبة في البقايا النباتية - السكريات والأحماض العضوية أساسا . والميكروبات بطبيعة الحال تستهلكها للحصول على الطاقة وبناء الخلايا الجديدة ، نادرا ما تحتوي على كميات كبيرة من السكريات والأحماض العضوية السهلة الذوبان . وهذه المركبات العضوية البسيطة مثلها ، مثل غيرها من مركبات الكربون تحلل هوائيا إلى CO_2 & H_2O كناتج نهائي ، أما تحت الظروف اللاهوائية فإن عمليات الأكسدة لا تكون كاملة ، لذلك فإن السكريات ستتحول إلى أحماض عضوية وكحولات والدهيدات وكيبنونات وغازات مثل الميثان والأيدروجين و CO_2 وغيرها . وبعد اختفاء المواد السهلة التحلل تقوم الميكروبات المختلفة بتحليل المواد الكربوهيدراتية المعقدة الموجودة في البقايا النباتية . ويختلف معدل تحللها حسب مدى تعقيد المركب ونوع الروابط الكيميائية التي توجد بين الوحدات البنائية للمركب ، ومدى وجود الميكروبات المتخصصة في التحلل وعلى أية حال ، فإن التحلل يتم أولا بإفراز إنزيمات خارج الخلايا Extracellular enzymes تحلل المواد الكربوهيدراتية المعقدة إلى مكوناتها الأولية البسيطة ، ثم بعد ذلك تستخدمها الميكروبات للبناء الخلوي ومصدرا للطاقة وجزء منها يدخل في بناء مواد معقدة أخرى بالتربة أو يدخل في تركيب "الدبال Humus" . والنواتج النهائي للتحلل لمختلف أنواع الكربوهيدرات تحت الظروف الهوائية هو H_2O & CO_2 ولكن تحت الظروف اللاهوائية تكون النواتج هي أحماض عضوية ، كحولات ،

الدهيدات ، كيتونات وغازات ، وسوف نتعرض فيما يلي لتحلل النشا ، السليلوز ، والبكتين - كامثله فقط .

تحلل النشا Starch Hydrolysis

النشا من الناحية الكيميائية عبارة عن مركب معقد (عديد الجلوكوز) ويوجد منه طرازان أميلوز Amylose (AmI) مكون من سلاسل مستقيمة من الجلوكوز مرتبطة مع بعضها برابطة جليوسيدية من النوع α -1,4 glycosidic linkage وأمليويكتين Amylopectin (AMII & Fig.9) يحتوي علاوة على السلاسل المستقيمة المشابهة للأميلوز ، على سلاسل متفرعة ، والرابطة عند التفرع تكون من النوع Glycosidic α -1,6 - Linkage

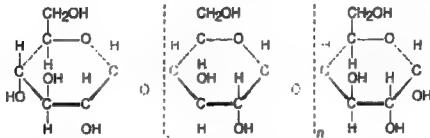


Fig. 9 : Structural formula of amylose, Amylose (AmI)

وكما هو واضح فإن جزيئات الأميلوز تكون طويلة، غير متفرعة في سلاسلها التي تتكون من وحدات α -D-glucopyranose يتراوح عددها في السلسلة بين ١٠٠ إلى عدة آلاف تتصل كل وحدة بأخرى في السلسلة برابطة من الطراز α 1 \rightarrow 4 glycosidic bond .

لما الأميلويكتين كما يتضح من الرمز في شكل رقم ١٠ فإن لجزيئاته تركيب متفرعة نقرعا شديدا مثل الشجرة (شكل رقم ١١) حيث تحتوي علي ما قد يصل إلي ٥٠,٠٠٠ وحدة α - D - Glucopyranose والتي ترتبط دائما ببعضها برابطة من نوع $\alpha 1 \rightarrow 4$ glycosidic linkage أما الرابطة عند مكان التفرع فتكون من نوع $\alpha 1 \rightarrow 6$ glycosidic linkage.

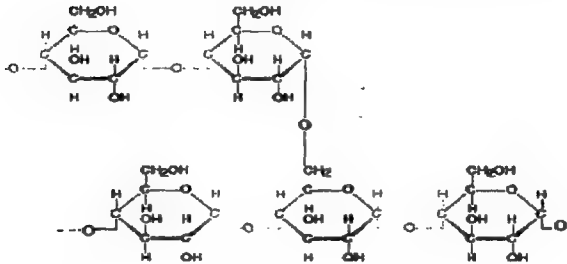
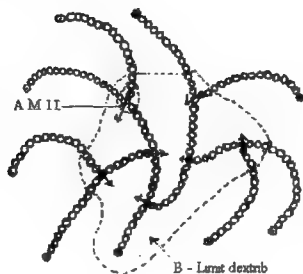
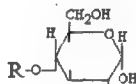
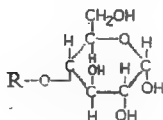


Fig. 10 : Section of amylopectin molecule (AmII)

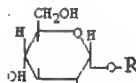
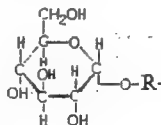
وعملية تحليل للنشا في المادة العضوية عملية هامة حيث أن للنشا واسع الإنتشار في البقايا النباتية ، وعادة ما يوجد فيها بنسبة كبيرة، لذلك فإنه يعتبر مصدرا جيدا للطاقة بالنسبة للميكروبات المختلفة - سواء تلك القادرة علي تحليله أو غير القادرة ، وهذه الأخيرة تستفيد منه بطريقة غير مباشرة - حيث تستفيد من السكريات التي تتكون نتيجة لتحليل جزيء النشا المعقد بواسطة الميكروبات القادرة علي تحليله.



⊙ = reducing end i.e.



• = non-reducing end i.e.



⊙ = α -1,4- glycosidic linkage

• = α -1,6- glucosidic linkage

β - Limit dextrin = residue remaining after B - amylase - catalysed hydrolysis of amylopectin.

AMII = segment of amylopectin show in molecular structure AMII.

Fig. 11 : Simplified, two dimensional structural representation of amylopectin.

ويعتبر النشا من أسرع المواد الكربوهيدراتية تحللاً ، فهو يلي السكريات البسيطة في سرعة التحلل ، لذلك فإنه يختفي من المادة العضوية بعد فترة قليلة من إضافتها للتربة. وأعداد الميكروبات المحللة للنشا تكون أكثر كثيراً من تلك القادرة علي تحليل غيره من المركبات الكربوهيدراتية المعقدة Polysaccharides الأخرى. والميكروبات القادرة علي تحليل النشا Amylolytic microorganisms تشمل : البكتيريا ، الفطريات والأكتينومايساتات . ونسبة كبيرة من ميكروبات التربة تعتبر قادرة علي تحليل النشا .

ولقد قدر أن ٥٠ - ٨٠% من مستعمرات Colonies البكتيريا والأكتينومايساتات النامية علي الأطباق عند عد الميكروبات تعتبر قادرة علي تحليل النشا . وتحتوي التربة الخصبة في المتوسط علي $(10^6 - 10^7)$ خلية بكتيرية / اجم من التربة - من ميكروبات تحليل النشا .

والبكتيريا المحللة للنشا قد تكون هوائية أو لاهوائية - كما أن منها المتجراثم وغير المتجراثم وكذا السالب لجرام والموجب لجرام - ومنها ما يتبع الأجناس الأتية: *Cytophaga, Clostridium, Bacillus, Micrococcus, Flavobacterium, Chromobacterium*. ومن الأكتينومايساتات ما يتبع الأجناس *Micromonospora, Streptomyces* ومن الفطريات ما يتبع الأجناس *Fusarium, Rhizopus, Aspergillus*.

والميكروبات المحللة للنشا تفرز مجموعة أنزيمات خارجية ، منها:
١ - α -amylase : وهو القادر علي تكسير الروابط في السلاسل المستقيمة لكل من الأميلوز والأميلوبكتين ، بطريقة عشوائية لكنه غير قادر

علي تكسير الروابط المتفرعة وبذلك ينتج عن فعل هذا الأنزيم علي النشا مجموعة من البكتريا وقليل من السكريات المختزلة Reducing sugars .

٢ - β -amylase : ينشط التحلل من نهاية الجزيء تدريجيا ، ويكون التكسير عند الرابطة الثانية بين وحدات الجلوكوز في الجزيء ليعطي وحدات من السكر الثنائي (مالتوز) علاوة علي نسبة من الدكستريانات . وكلا الانزيمين α -amylase ، β -amylase غير قادر علي تكسير الرابطة α -1,6 glycosidic bond في جزيء الأميلويكتين - وبذلك فإن كميات الدكسترين التي تتكون يجري تحللها بواسطة أنزيمات أخرى - أما المالتوز المتكون فإنه يتحلل بواسطة إنزيم maltase (α -1,4 glucosidase) إلي جلوكوز .

وبالإضافة إلي هذه الإنزيمات ، فإن بعض الميكروبات المحللة للنشا تفرز أنزيم gamma amylase (Glucoamylase) هو الذي يفصل وحدات الجلوكوز من نهاية جزيء النشا . والجلوكوز الناتج من التحلل البيولوجي للنشا إما أن يتأكسد هوائيا إلي H_2O & CO_2 أو لا هوائيا (تخميرا) إلي أحماض عضوية وكولات وغازات.

تحلل السليلوز Cellulose Decomposition

يمثل السليلوز ١٥ - ٦٠% من تركيب البقايا النباتية . وعادة ما تكون نسبة أعلى في أواخر عمر النبات عن الأعمار الصغيرة ، وعلي ذلك فإن السليلوز يمثل أحد المركبات الهامة التي تستخدمها الميكروبات كمصدر للكربون والطاقة من البقايا النباتية وهو يلي السكريات البسيطة والنشا في سرعة التحلل . والسيللوز من الناحية الكيميائية عبارة عن مادة كربوهيدراتية معقدة تتركب من وحدات من الجلوكوز (Polymer of glucose) وترتبط (١١٤)

الوحدات مع بعضها برابطة β -1,4-glycosidic Linkage (B 1,4glucan) كما هو واضح من شكل رقم ١٢ . وعدد وحدات الجلوكوز في السلسلة المكونة لجزيء السليلوز تختلف من نبات لآخر ، عموما فإنها تتراوح ما بين 10.000-1400 وحدة ، لذلك فإن الوزن الجزيئي للسليلوز كبير جدا إذ يتراوح بين 2.4×10^6 - 200.000 . والسليلوز في الطبيعة لا يوجد علي شكل سلاسل بسيطة ، وإنما توجد هذه السلاسل متحدة في وحدات دقيقة جدا تسمى Micelles وهذه بدورها تترتب بشكل خاص في تراكيب أكبر تسمى "Microfibrils" وهذه الوحدات بدورها تترسب في الجدار الخلوي. ويوجد بينها عادة مادة للجنين مع السكريات المعقدة الأخرى بنسب أقل.

ونظرا لأن التركيب الكيميائي للسليلوز عبارة عن وحدات ذات رابطة من نوع بيتا β ، فإن عملية التحلل تتم بواسطة ميكروبات متخصصة قادرة علي إفراز أنزيمات تستطيع كسر الرابطة β -1,4-glycosidic bond .

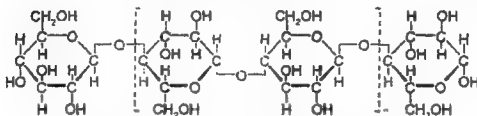


Fig. 12 : Structure of the cellulose molecule

ولقد ثبت أن الميكروبات القادرة علي تحليل المركبات ذات الرابطة α -1,4-glycosidic linkage مثل تلك الموجودة في النشا تكون أكثر عددا وتتوعا من الميكروبات القادرة علي تحليل المركبات ذات الرابطة β -1,4-glycosidic bond وهي الموجودة في جزيئات السليلوز.

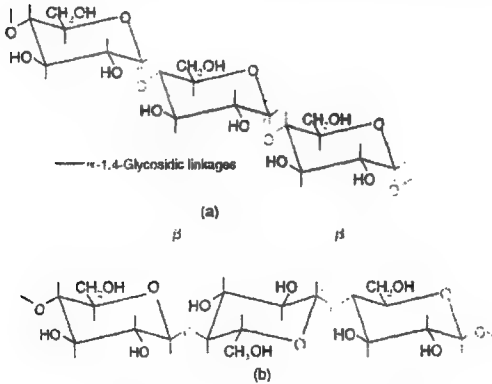
والتحليل الإنزيمي للسليولوز يعتبر عملية معقدة تتطلب إعمال ثلاثة
علي الأقل من الأنشطة الأنزيمية تشمل:

١ - $\text{exo-}\beta\text{-1.4-glucanase}$ أو ما يعرف بـ C_1

٢ - $\text{endo-}\beta\text{-1.4-glucanase}$ أو ما يعرف بـ C_x

٣ - $\beta\text{-glucosidase}$.

ففي تحليل السليولوز الطبيعي Native or crystalline cellulose لابد
أن يعمل النظامين الإنزيمين $\text{Exo- and endoglucanase}$ معا بتعاون
Synergistically حتي يتم تكوين السيلوبيور Cellobiose والاخير يتحلل
إلي جلوكوز بفعل النظام $\beta\text{-glucosidase}$ (شكل رقم ١٣).



شكل رقم ١٣ : مكان فعل إنزيمات تحليل السليولوز

ولقد ثبت فعلا وجود تأثير تنشيطي Synergistic effect قوي فيما بين عملي Exo - and endoglucanase أثناء تحليل السليلوز الباليوري (Avicel) crystalline cellulose بينما يلاحظ ذلك التعاون التنشيطي عند تحليل Acid swollen cellulose. كما لوحظ أن إنزيمات β -Glucosidases تحليل السليلوز والسلاسل القصيرة من طراز - Cello short - chain oligosaccharides إلى جلوكوز ، ولكنه لا تقوي على التأثير على السليلوز.

ولقد كان يعتقد أن الـ C_1 هو إنزيم غير محلل مائيا Nonhydrolytic يقع على عباء بدء عملية التحليل المائي للسليلوز الطبيعي Native من خلال قيامه بتكسير الروابط الأيدروجينية Hydrogen bonds فيما بين سلاسل السليلوز . وهذه تعد خطوة حتمية لابد أن تسبق الفعل التحليلي للسليلوز بواسطة إنزيمات C_x وهي المحللة مائيا. وعلى ذلك فسرت عدم قدرة الميكروبات التي لا تنمو على السليلوز الطبيعي Native بعجزها عن تخليق إنزيم الـ C_1 . ولقد ثبت أن الـ C_1 في حالة *T. Koningii, Trichoderma viride* عبارة عن Cellobiohydrolase وفي جدول رقم ١٦ عرضا لصفات إنزيمات السليلوز

ولقد ثبت حديثا أن الـ Exoglucanase يقوم بتنشيط فصل جزيئات سيللوز Cellosiose من النهاية غير المختزلة لسلسلة السليلوز ، ومن ثم يطلق على من الناحية التقسيمية أسم β -1,4-glucan cellobiohydrolase - 1,4- β (E.C.3.2.1.-) أما الـ Endoglucanases فتحلل مائيا مركبات - 1,4- β glucans بطريقة عشوائية وتسمى من الناحية التقسيمية باسم - 1,4- β glucan glucanohydrolase (E.C.3.2.1.4) وكل الميكروبات المحللة

للسليلوز الطبيعي لابد وأنها تمتلك علي الأقل واحد من أنظمة الـ $\text{Exo} - \beta$ glucanase - والذي هو عبارة عن $\beta - 1,4 - \text{glucan cellobiohydrolase}$ في حالة (*T. viride*, *T. koningii*, *Sporotrichum pulverulentum*,)

Table 16 : Some properties of cellulolytic enzymes isolated from *Trichoderma viride*

Type of Enzyme	Molecular weight	Isoelectric Point	carbohydrate Content (per cent)	Activity toward different substrates			
				CMC	microcrystalline Cellulose	Reprecipitated cellulose	Cello-tetraose
Exo- β -1,4-glucanase	42000	3.79	9	—	+	+	+
Endo- β -1,4-glucanase I	12500	4.60	21	+	—	+	+
Endo- β -1,4-glucanase II	50000	3.39	12	+	—	+	+
B-Glucosidase	47000	5.74	0.0	—	—	—	+

ولقد أجريت دراسات مستفيضة علي فصل البروتينات الإنزيمية الخاصة بنظم تحليل السليلوز وأعيدت عمليات خلطها معا بقصد معرفة الخصائص التنشيطية Synergistic properties فيما بينها والنتائج مبينة في الجدول رقم ١٧.

Table 17 : Relative cellulose activities of the components of *Trichoderma koningii* cellulose alone and in combination

Enzyme	Relative cellulose activity %
C ₁	< 1
Cx(1)	< 1
Cx(2)	< 1
B-Glucosidase (1)	0
B-Glucosidase (2)	0
C ₁ + Cx(1) + Cx(2)	24
C ₁ + B-Glucosidase(1+2)	5
C ₁ + Cx(1+2) + B-Glycosidase(1+2)	103
20 – 80 %sat. (NH ₄) ₂ SO ₄ Fraction	100

وفي دراسة أخرى علي مكونات النظام الإنزيمي المحلل للسليولوز أجريت علي سائل الزرع Cultural solution ثبت أن المحلول المركز غير المجزأ قد أحدث تحللاً للقطن المزال منه الشمع De- waxed cotton قدرة ٥٢,١% علي حين أن المحلول المعاد تركيبة من مثاقية المجزأين Exo & endoglucanases حل فقط قدرة 20% كما هو واضح في جدول رقم ١٨ علي الرغم من أن المحلول المعاد تركيبة Reconstituted solution كان يحتوي نفس الكميات بالضبط من كل من Endo - and exoglucanases مثل محلول الزرع الأصلي Original . cultural solution

ومن ثم يتأكد أن هناك نظاماً إنزيمياً آخر غير الـ Endo - exoglucanases موجوداً في سائل الزرع وغير موجود في السائل

المعاد تركيبة ، وأن هذا يعد ضروريا لعملية تحليل السليلوز الطبيعي
 . Crystalline cellulose

Table 18 : Degradation of cotton cellulose by enzymes from
Sporotrichum pulverulentum.

Enzyme Preparation	Cellulose degradation weight loss (%)
Concentrated cultural solution	52.1(oxygen atmosphere)
Concentrated cultural solution	21.5(nitrogen atmosphere)
Mixture of endo - and exoglucanases	20.0
Endo - β - 1,4 - glucanase	0.0
Exo - β - 1,4 - glucanase	0.0

وعندما تم تحضير محلول الزرع في جو من النيتروجين بدلا من
 الهواء ، وجد أن درجة تحلل السليلوز انخفضت إلى 21.5% بدلا من
 52.1% في حالة محلول الزرع المركز . ولقد إستنتج من ذلك أن هناك
 إنزيمات إضافية مؤكسدة لة دور في عملية تحليل السليلوز وثبت أن هذا الأنزيم
 يوجد في محاليل الزرع Cultural solutions لفطريات أخرى محللة
 للسليلوز (جدول رقم ١٩).

علي لية حال ربما كان واضحا أن تحليل السليلوز تعد عملية معقدة
 في خطواتها لكن الشيء الثابت بوضوح هو الفعل التثبيطي Synergistic
 effect فيما بين الـ Eexo - and endo glucanases وفوق ذلك ، فلا بد من
 وجود β -glucosidase للتخلص من السلوبيوز من وسط التفاعل الأنزيمي
 وإلا أدى تراكمه إلى تثبيط عمل الـ Exoglucanase . وهناك تصور عام
 لفعل أنزيمات تحليل السليلوز (شكل رقم ١٤) ربما يزيد فهم هذا النظام

المعقد. والإنزيم المشار له في الشكل بالرمز X (Unnamed enzyme) عبارة عن نظام إنزيمي خارجي Extracellular يفصل اللجين عن السليلوز.

Table 19 : Degradation of cotton cellulose by cell – free, concentrated cultural solution of four different cellulose – degrading fungi in presence and absence of oxygen

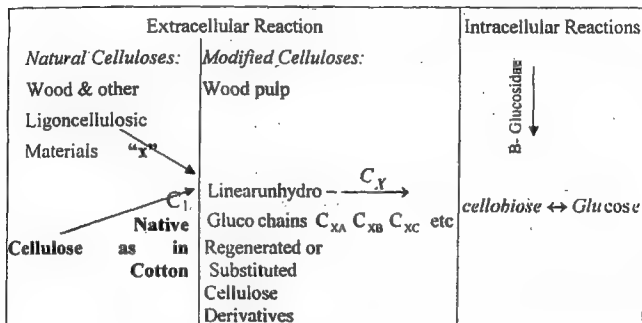
Organism	Cellulose degradation (weight loss %)	
	O ₂ -atmosphere	N ₂ -atmosphere
<i>Sporotrichum pulverulentum</i>	52.1	21.5
<i>Polyporus adustus</i>	42.6	18.0
<i>Myrothecium verrucaria</i>	33.6	17.0
<i>Trichoderma viride</i>	20.0	10.0

ومن هنا فقد وجد أن بعض الفطريات مثل *Polyporus versicolor* لها المقدرة علي تحليل السليلوز المرتبط باللجنين Lignocellulose . وفُسِّرَ ذلك علي أساس أن هذه الميكروبات تفرز بالإضافة إلي أنزيمات تحليل السليلوز Cellulases المشار لها ؛ أيضا نظام أنزيمي آخر رمز له بالحرف X ووظيفته هي فصل اللجين عن السليلوز.

ومن المعروف أن الميكروبات اللاهوائية لا تستطيع القيام بالأكسدة الكاملة Complete oxidation للمركبات العضوية ، كذلك فإن النواتج النهائية لتحليلها للسليلوز تشمل عددا من المركبات غير كاملة الأكسدة ، حيث تتراكم كميات كبيرة من الأحماض العضوية مثل : Succinic , Acetic , Lactic , Formic , Butyric , وغيرها . كما تتراكم عديد من الكحوليات

الفصل الرابع

والغازات مثل H_2 ; CO_2 ; CH_4 والميثان الذي يتكون أثناء التحليل اللاهوائي للسليولوز لا ينتج كنتيجة مباشرة للتحلل ، ولكنه يتكون خلال الأحماض العضوية المتكونة بفعل التخمر الميثاني الي ميثان بواسطة ميكروبات أخرى خلاف المحللة للسليولوز حيث ثبت أن المزارع النقية من الميكروبات اللاهوائية المحللة للسليولوز لا تكون فيها الميثان أبداً.



شكل رقم ١٤ : تصور علم لفعل نظم تحليل السليولوز

وتلعب البكتريا اللاهوائية المحللة للسليولوز دوراً هاماً في قاع البرك والمستنقعات وفي كرش الحيوانات المجترة وفي نتاج المركبات الوسطية اللازمة لإنتاج غاز البيوجاز Biogas.

ولقد ثبت أن هناك عوامل كثيرة تؤثر في معدل تحلل السليولوز حيث لوحظ أن السليولوز النقي يصعب علي كثير من الميكروبات تحليله ، وأنة في حاله تولد شوائب معه فإنها تسرع من عملية التحلل. وبالتالي فإن معدل

تحلل السليلوز الموجود في البقايا النباتية يكون سريعاً جداً في التربة الزراعية أو الأوساط الغذائية مقارنة بتحلل السليلوز النقي. كما تلعب درجة الرطوبة في الأرض؛ إضافة مصدر نيتروجيني للبقايا الفقيرة في محتواها النيتروجيني؛ درجة الحرارة دوراً هاماً في سرعة تحلل السليلوز في التربة. وكذلك فإن درجة الـ pH للتربة لها أثراً فعالاً جداً في ذلك.

وتشمل محللات السليلوز الميكروبية أربعة مجموعات . كما يلي:

١ - بكتيريا هوائية تتبع للأجناس:

Pseudomonas, Sporocytophaga, Bacillus, Cytophaga

٢ - بكتيريا لا هوائية تتبع للجنس : *Clostridium* مثل

Cl. dissolvens وهو ميزوفيلي *mesophile*

Cl. thermocellum وهو ترموفيلي *thermophile*

٣ - أكتينوميستات تتبع للأجناس:

Micromonospora, Thermoactinomyces, Thermomonospora, Nocardia, Streptomyces.

٤ - فطريات تتبع للأجناس :

Myrothecium, Sporotrichum, Alternaria, Fusarium, Penicillium, Aspergillus, Chaetomium, Trichoderma

وعلى أية حال فإن إحتياجات هذه المجموعات الميكروبية من حرارة وتهوية و pH تختلف وتتفاوت فيما بينها ومن هنا تختلف أدوارها في كل حالة. ويتم تحليل السليلوز لاهوائياً في معدة الحيوانات للمجتررة *ruminants* بواسطة البكتيريا اللاهوائية المحللة للسليلوز مثل:

Ruminococcus Flavofaciens; Clostridium spp; R.albus; Butyrivibrio, Fabrisolvens; B.ruminicola ; Bacteroides succinogenes

وهي من بكتيريا الكرش غالبا ، والنواتج النهائية للتحلل هي أملاح الأحماض Succinic ، Butyric ، Propionic ، Acetic وغازات CH_4 30 - 50 % ، CO_2 50 - 70% وقليل من الأندروجين .

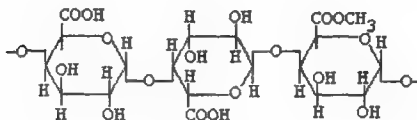
تحلل المواد البكتينية Degradation of Pectic Substances

المواد البكتينية عبارة عن مواد لاحمة تربط الخلايا النباتية ببعضها حيث أنها تكون الصفيحة الوسطى Middle lamella بين جدر الخلايا . لذلك فإن تحللها واستخدامها كمصدر للكربون والطاقة للميكروبات يساعد علي تفكك الخلايا النباتية عن بعضها مما يسهل تحللها، وعلي ذلك فإن تحلل البكتين يعتبر أمرا هاما في تحلل البقايا العضوية المضافة للتربة الزراعية كما أن تحلل المواد البكتينية له أهمية كبيرة في صناعه تعططين Retting نباتات الألياف مثل القطن والكتان والجوت وحطب القطن وسيقان الكركدية والملوخية، حيث تعمل الإنزيمات البكتيرية علي تحليل المواد البكتينية المكونة للصحيفة الوسطى التي تربط أنسجة الألياف فتتفكك وبذلك يسهل فصل الألياف السليولوزية عن باقي الأنسجة النباتية ، حيث تستخدم هذه الألياف بعد ذلك في صناعة النسيج أو في صناعة الحبال أو غيرها من الصناعات . كما أن القدرة علي إحداث الأمراض للنباتات Phytopathogenicity بواسطة بعض الميكروبات الممرضة وأيضا تحلل وتعفن كثيرا من الخضروات والفاكهة يرتبط إلي حد كبير بتحلل البكتينى. فمرض العفن الطري Soft rot الذي يصيب كثيرا من النباتات الدرنية كالبطاطس والجزر ويصيب أيضا الخيار والللفت وغيرها والذي يسبب خسائر كبيرة في الخضروات والفاكهة المخزنة بسببه بعض أنواع البكتيريا المفرزة الإنزيمات المحللة للمواد البكتينية ، ومن أهمها ميكروب

Erwinia carotovora حيث يؤدي نمو هذا الميكروب داخل درنات البطاطس إلى تفكك الخلايا داخل الدرنه ثم تموت هذه الخلايا وتتحلل الدرنه ويخرج الميكروب ليغزو درنات جديدة... وهكذا.

كما أن هناك اعتقاداً بوجود علاقة إيجابية بين قدرة الفطريات المسببة لأمراض الذبول Wilting علي إفراز الإنزيمات المحللة للمواد البكتينية وقدرتها علي إحداث أمراض الذبول في النباتات المختلفة.

أما من ناحية كيمياء المواد البكتينية ، فهي تعتبر قسماً من أقسام المواد الهيمسليبيوزية ، وتركيبها الكيميائي عبارة عن سلاسل من وحدات حمض الجالكتيوروبونيك Galacturonic acid مرتبطة كلية أو جزئياً بروابط أستر مع مجاميع الميثايل Methyl ester - ومجاميع الكربوكسيل غير المرتبطة بروابط الإستر قد تكون متحدة كلية أو جزئياً مع كاثيونات مختلفة مثل Mg^{++} , Ca^{++} ويمكن تمثيل حمض الجالكتيوروبونيك في حمض البكتيك كما في الشكل رقم ١٥ .



شكل رقم ١٥ : وحدات حمض الجالكتيوروبونيك في جزئ حمض البكتيك

وتشمل المركبات البكتينية ثلاثة مكونات رئيسية هي:

- أ. برونوكتين Protopectin: وهو الجزء غير القابل للذوبان في الماء من المركبات البكتينية، وهو يتكون من وحدات من حمض الجالكتيوروبونيك
- ب. بوليمر الجالكتيوروبونيك Polymer of galacturonic acid محتوية علي مجاميع الإستر.

ب. بكتين Pectin: ويشبة المكون السابق في تركيبة الكميائي إلا أنه قابل للذوبان

في الماء ، ونسبة مجاميع الإستر به حوالي 8 %

ج. حمض Pectic acid: وهو عبارة عن وحدات من حمض الجلكتيورونيك

خال من مجاميع الإستر ، وهو قابل للذوبان في الماء. وحمض البكتيك يتميز

بأنه يكون Pectic gel عند معاملة بلالكالميوم ، ويمكن إنتاج حمض البكتيك

من المواد البكتينية السابقة بمعاملتها بقلوي مخفف مما يؤدي إلي تحلل مجاميع

الأستر وأفراد مجاميع الكربوكسيل في سلاسل حمض الجلكتيورونيك .

وتستطيع كثير من أنواع أجناس البكتيريا والأكثينومياسيتات

والفطريات تحليل المواد البكتينية في التربة واستخدامها كمصادر للكربون

والطاقة ، لذلك فإن المواد البكتينية تكون سريعة التحلل في التربة . وتصل

أعداد هذه الميكروبات إلي $10^5 - 10^6$ /جم تربة ، وتزيد أعدادها في منطقة

الجنور عن ذلك كثيرا فنصل إلي 10^7 /جم . وعادة يتم تحلل المواد البكتينية

في الظروف المتعادلة والمائلة إلي قلوية بواسطة البكتيريا والأكثينومياسيتات

أما في الظروف الحمضية فإن الفطريات تكون هي النشطة في التحليل.

والإنزيمات المحللة للمواد البكتينية والتي يطلق عليها كمجموعة إسم

Pectinases تضم مجموعتين رئيسيتين وهما Saponifying enzymes ،

Depolymerizing enzymes

حيث تقوم أفراد المجموعة الأولى بتحليل روابط الأستر بين مجاميع

الكربوكسيل و المثل و ينتج عن التحلل أفراد الميثانول CH_3OH وظهور

مجاميع الكربوكسيل الحمضية في الجزيء ويتضح من هذا أن الأثر العام

لهذه الأنزيمات علي جزيء البكتين محدود نظرا لأنه ليس لها أثر علي

السلسلة الجليكوسيدية . أما أفراد المجموعة الثانية فتقوم بتقسيم جزيء

البكتين الكبير إلي وحدات أصغر إما عن طريقة التحليل المائي للروابط

الجليكوسيدية Hydrolytic enzymes أو عن طريق الإزاله الإنتقالية
Lyases or trans- eliminative cleavage) Trans-elimination
(enzymes) والتي تحدث تفككا للروابط الجليكوسيدية في الجزيء . ويمكن
حصر وتنقسم الإنزيمات المحللة للمواد البكتينية كالآتي :

Classification of Pectinolytic enzymes

A: Esterase

Pectin esterase,"PMGE", EC 3.1.1.11, de-esterifies pectin to pectic acid by removal of methoxyl residues.

(S.n): Pectin pectylhydrolase

(R.n): polymethylgalacturonate esterase

B: Depolymerases

1 – Acting on pectin:

1.1 Polymethylgalacturonase "PMG"

1.1.1. Endo – PMG Hydrolyses pectin in a random fashion.

(R.n): Endo polymethyl gala cturonase

1.1.2. Exo – PMG hydrolyses pectin in a sequential fashion.

(R.n.): Exopolymethyl galacturonase

1.2: Poymethyl galacturonate lyase "PMGL"

1.2.1. Endo – PMGL,EC4.2.2.10,causes random cleavage in pectin by a transemination process.

(R.n.): Endopoly methylagal cturonate lyase (endopeptin lyase).

1.2.2. Exo – PMGL causes sequential cleavage in pectin by a transemination process.

(R.n.): Exopolymethyl galacturonate lyase (exopectin lyase)

2 – Acting on pectic acid (polygalacturonic acid):

2.1 Polygalacturonase (PG)

2.1.1. Endo – PG, EC 3.2.1.15 , hydrolyses pectic acid in a random fashion.

(R.n.): Endopolygalacturonase

2.1.2. Exo – PG –1, EC 3.2.1.67, hydrolyses pectic acid releasing D-galacturonate; i.e., hydrolyses successive bonds.

(R.n.): Exopolygalacturonase.

2.1.3. Exo – PG-2, Ec3.2.1.82, hydrolyses pectic acid from non-reducing end releasing digalacturonate; i.e., hydrolyses alternate bonds.

(R.n.): Exopolydigalacturonase.

2.2 : Polygalacturonate lyase (PGL)

2.2.1. Endo – PGL, EC 4.2.2.2., causes random cleavage in pectic acid by a transelimination process.

(R.n.): Endopolygalacturonate lyase (endopectate lyase)

2.2.2. Exo – PGL, EC 4.2.2.9, causes sequential cleavage in pectic acid by a transelimination process.

(R.n.): Exopolygalacturonate lyase (exopectate lyase)

3 –Acting on oligo – D – galactosiduronates:

3.1 : Oligogalacturonase-(OG)

OG hydrolyses oligo – D – galactosiduronate

(R.n.): Oligogalacturonase

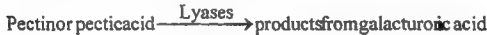
3.2 : Oligogalacturonate lyase (OGL)

OGL, EC 4.2.2.6, causes cleavage of oligo - D-galactosiduronate by a transelimination process.

(R.n.): Oligogalacturonate lyase

N.B: All depolymerizing pectic enzymes produce reducing groups on substrate hydrolysis.

وعلي ذلك يمكن تلخيص الفعل الأنزيمي في صورته معادلات كما يلي:



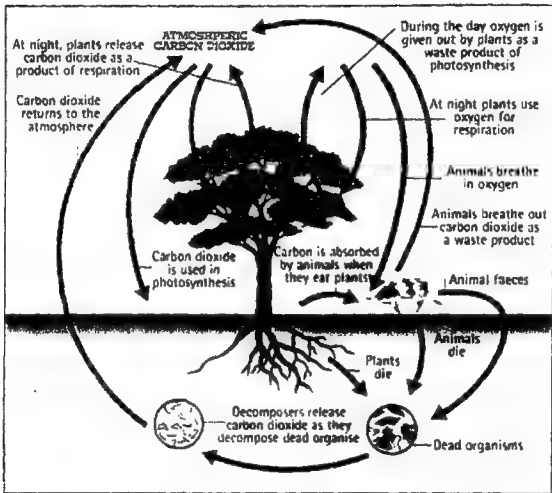
أما جدول رقم ٢٠ فيوضح مصادر أنزيمات تحليل المركبات البكتينية من مختلف الكائنات المختلفة فطرية أو بكتيرية.

ويختلف محتوى المواد البكتينية من الميثوكسيل تبعاً لمصدرها وأنواعها ، وفي حالة الفاكهة يتفاوت هذا المحتوى بتقدم العمر ودرجة النضج . وتجدر الإشارة ثانياً إلى أن أنزيمات الأسستريز تغير صورة الجزيء دون تغير درجة البلمرة . وعموماً ، فإن أنزيمات تحليل المواد البكتينية تعتبر من الأهمية بمكان في إعطاء القوام للفاكهة والخضروات . أما إنزيمات اللابيز فتعمل على بلمرة الجزيء دون ما تأثر على درجة الأسطرة وتعزي التغيرات في القوام أثناء التخزين بعد الحصاد إلى التغيير الحادث في المواد البكتينية والذي يحدث بواسطة أنزيمات تحليل البكتين في الطبيعة . وهذه الإنزيمات الطبيعية جنباً إلى جنب مع إنزيمات تحليل البكتين من الميكروبات يجب أن تكون موضع اعتبار في تكنولوجيا منتجات الفاكهة والخضر - علاوة على أدوارها في ميكروبيولوجيا التربة الزراعية وبين

شكل رقم ١٦ التحولات الميكروبيولوجية للمركبات الكربونية في التربة الزراعية.

جدول رقم ٢٠ : بيان ببعض الأجناس الميكروبية وما تنتجه من أنزيمات تحليل المواد البكتينية

Enzyme	Fungi	Bacteria
Polygalacturonase Endo –Or Exo-enzymes	<i>Aspergillus</i> , <i>fusarium</i> <i>Penicillium</i> , <i>Rhizoctonia</i> <i>Monilia</i> <i>Rhizopus</i>	<i>Bacillus</i> , <i>Erwinia</i> <i>Pseudomonas</i> <i>Xanthomonas</i> <i>Arthrobacter</i>
Pectate lyase Endo – or Exo –enzymes	<i>Fusarium</i> , <i>Geotrichum</i> , <i>Rhizoctonia</i>	<i>Arthrobacter</i> , <i>Bacillus</i> <i>Clostridium</i> , <i>Pseudomonas</i> <i>Corynebacterium</i> , <i>Flavobacterium</i>
PMG Only Endo –enzyme	<i>Aspergillus</i> , <i>Botrytis</i>	
	<i>Fusarium</i> , <i>Rhizoctonia</i>	
Pectin lyase Only Endo – enzyme	<i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Rhizoctonia</i>	<i>Arthrobacter</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Flavobacterium</i> , <i>Xanthomonas</i>
Pectinesterase	<i>Alternaria</i> <i>Fusarium</i>	<i>Clostridium</i> <i>Pseudomonas</i> , <i>Xanthomonas</i>



شكل رقم ١٦ : التحويلات الميكروبيولوجية للمركبات الكربونية في التربة الزراعية

الفصل الخامس :

التحولات الميكروبية للمركبات النيتروجينية
في التربة الزراعية

**Microbial Transformations of
Nitrogen compounds in Soil**

الفصل الخامس

التحولات الميكروبية للمركبات النيتروجينية في التربة الزراعية

Microbial Transformations of Nitrogen compounds in Soil

للنشاط البيولوجي في معدنة النيتروجين والفسفور والبوتاسيوم أهمية اقتصادية كبيرة نظرا لأنها العناصر السامة الأساسية لتغذية النبات . ويعتبر النيتروجين أهمها نظرا لأنه يمثل الحجر الأساسي في جزيء البروتين ، وبالتالي يكون أساسا للبروتينات في جميع الكائنات الحية . والنيتروجين يعتبر من العناصر القليلة المعرضة دائما للتفقد بالتطاير أو الغسيل من التربة . وهو بضاف للتربة الزراعية في صورتين إحداهما غير عضوية علي هيئة أسمدة نيتراتية أو نوسلارية أو سيناميد أو غيرها . أما الثانية فهي صورة عضوية ، وهي تشمل بقايا المحاصيل Crop residues والأسمدة الخضراء Green manures والسماد العضوي الصناعي Compost، كما تشمل بقايا حيوانية كالسماد البلدي المحتوي علي بول وروث الحيوانات وأيضا بقايا السلخانات المجازر وسماد المجاري وغير ذلك الكثير .

وكما هو معروف ، فإن النبات يمثل معظم إحتياجاته من النيتروجين علي صورة معدنية ، لذلك فإن معدنة المواد العضوية النيتروجينية تعتبر عملية أساسية لدورة النيتروجين و خصوبة التربة . وتتعرض مركبات النيتروجين في التربة إلي عدد من التغيرات الحيوية (شكل رقم ١٧) تؤثر علي مدى قابليتها لإفادة النبات . وهذه التغيرات تتضمن معدنة النيتروجين العضوي Orgnic nitrogen بعملية تسمى المعدنة أي Nitrogen Mineralization حيث يتحلل جزء من محتوى النيتروجين العضوي في

الأراضي والذي يتضمن البروتينات والأحماض النووية والسكريات الأمينية وغيرها والنواتج النهائي لعملية التحلل هو الأمونيا ، لذلك فإن هذه العملية يطلق عليها اسم "النشطرة Ammonification". والأمونيا المتكونة لا تثبت أن تتعرض للأكسدة البيولوجية Biological oxidation خلال عملية "التأزت Nitrification"، والعمليتان السابقتان لهما فائدة كبيرة للنبات النامي ، حيث أن الأمونيا والنترات يكونان هما الصورتان الرئيسيتان للنتان بمتصلهما النبات. ومن الناحية الأخرى ، فإن ميكروبات التربة النشطة قد تلجأ إلي التترات عند سيطرة الظروف اللاهوائية وتختزلها إلي أمونيا أو أكاسيد نيتروجينية أو حتي إلي غاز النيتروجين ، وذلك حتي تستطيع أكسدة المواد العضوية والمعدنية في ظروف غياب الأكسجين بالتربة ، وتسمى هذه العمليات "أختزال النترات Nitrate reduction وإطلاق النيتروجين Denitrification". وهذه تعتبر علي ألب حال ، تفاعلات ضارة بخصوبة التربة والنبات حيث تؤدي إلي فقد جزء من الصورة الملائمة للنبات من عنصر النيتروجين.

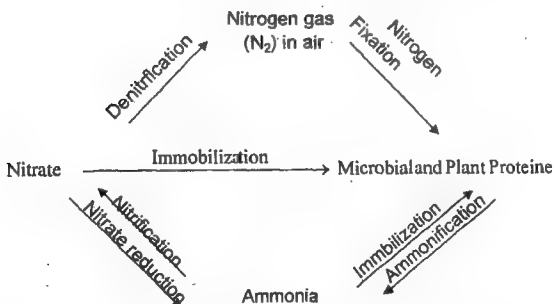


Fig.17 : The Soil nitrogen cycle

ومن التحولات الأخرى التي تحدث في نورة النيتروجين ، عملية تمثيل النيتروجين في أجسام الميكروبات (Nitrogen immobilization) . وفي هذه العملية تقوم الميكروبات بامتصاص صور النيتروجين المعدنية الموجودة في التربة وتستخدمها في بناء أجسامها ، وهذا طبعاً يقلل من مستوي النيتروجين المتاح لنمو النبات في الأرض "مؤقتاً" إذ أنه بعد موت هذه الميكروبات ، فإن خلاياها تتحلل إلي صور نيتروجينية صالحة لتغذية النبات.

ولما كان النيتروجين بالتربة يتعرض إلي فقد مستمر نتيجة لعمليات حيوية وغير حيوية ، مثل الغسيل وإختزال النترات وإنطلاق النيتروجين العنصري ، كذلك ما تأخذه المحاصيل المختلفة ، فإن خصوبة التربة وأنتاجيتها تتوقف علي مقدار ما يعوض من هذا النقص سواء بإضافة الأسمدة النيتروجينية المعدنية والعضوية أو عن طريق تثبيت النيتروجين الجوي حيويًا Biological nitrogen fixation بواسطة الميكروبات المثبتة للنيتروجين الجوي لا تكافياً

Non - Symbiotic N_2 fixers. وغيرها ومن الميكروبات المثبتة للنيتروجين الجوي تكافياً Symbiotic N_2 fixers وفيما يلي سوف نتناول الأنوار المختلفة لميكروبات التربة ، في التحولات النيتروجينية سألقة الإشارة وكذلك دورة النيتروجين في الطبيعة .

أولاً : معدنة النيتروجين العضوي Nitrogen mineralization

تسمى عملية التحول البيولوجي للمركبات النيتروجينية العضوية إلي الصورة المعدنية " بالمعدنة Mineralization " . وعملية معدنة النيتروجين العضوي تتضمن خطوتين منفصلتين هما النشدره Ammonification وهي

عبارة عن عملية تحلل النيتروجين العضوي حتي تكون الأمونيا NH_3 ، ثم التآكث Nitrification وهي عملية يتم فيها أكسدة الأمونيا إلي نترات NO_3^- .

١ - النشدره Ammonification

تحتوي التربة الزراعية علي أعداداً ضخمة من الميكروبات القادرة علي تحليل المواد العضوية النيتروجينية مثل البروتين والأحماض النووية وغيرها ، منتجة الأمونيا NH_3 كناتج أساسي لتحليل البروتين . والميكروبات المحللة للبروتين تشمل بكتيريا هوائية ولا هوائية وأختيارية وأكتينومايسات وفطريات . والنواتج النهائية لتحليل البروتين هوائيا هي: H_2S , H_2O , CO_2 , NH_3 . أما التحلل تحت الظروف اللاهوائية فإنه عادة يصحبه روائح كريهة ، وتسمى عملية التحلل حينئذ بأسم "تعفن Putrefaction" ، وفي هذه الحالة فإن نواتج التحلل تكون عبارة عن أمونيا ، أمينات ، أحماض أمينية ، أحماض عضوية ، Skatole , mercaptane , CO_2 , H_2S وغيرها .

وتتم عملية تحلل البروتين بواسطة إنزيمات خارجية محللة للبروتينات Extracellular proteases تفرزها الميكروبات . وهذه الأنزيمات تقوم بتكسير السلسلة الببتيدية لجزء البروتين بالتحليل المائي . ويمكن تصنيف هذه الإنزيمات إلي مجموعتين هما Exopeptidases وهي الإنزيمات التي تحلل الروابط الببتيدية الطرفية في السلسلة و Endopeptidases وهي الإنزيمات التي تحلل الروابط الببتيدية الداخلية في السلسلة .

وعملية تكسير السلاسل الببتيدية في جزء البروتين ضرورية حتي يمكن تحلله تحللاً كاملاً ، وذلك حيث أن جزء البروتين كبير الحجم جداً ولا يمكن أن ينفذ خلال جدر وأغشية خلايا الميكروبات ، لذلك لا بد أن

يتحلل خارج الخلايا Extracellularly إلي جزيئات أصغر فأصغر حتي تكون الوحدات الأساسية وهي الأحماض الأمينية:

Protein → Peptones → Polypeptide → Dipeptides → Aminoacids

والأحماض الأمينية المتكونة خلال التحلل تستخدمها ميكروبات الهتروثروفية Heterotrophs كمصادر للنيتروجين والكربون ... ويتم تحليل الأحماض الأمينية بواسطة الميكروبات بطرق عديدة تختلف حسب نوع الميكروب . والهدف من هذا التحليل هو نزع مجاميع الأمين NH_2 الموجودة في جزيء الحمض الأميني لتكوين الأمونيا NH_3 ، والتي تستخدم هذه الميكروبات جزء منها في أجسامها ولزائد عن حاجتها ينفرد في التربة .

ويمكن تلخيص طرق تحلل الأحماض الأمينية ، بإيجاز شديد فيما يلي:

- Decarboxylation وتعني نزع مجموعة الكربوكسيل مع تكوين مركبات قاعدية تعرف بالأمينات Amines .

- Deamination وتعني نزع مجموعة الأمين مع تكوين أمونيا ويتم ذلك بعدة طرق منها :

- 1 - oxidative deamination.
- 2 - reductive deamination.
- 3 - hydrolytic deamination.
- 4 - hydrolytic deamination & decarboxylation
- 5 - desaturation
- 6 - stickland reaction

ويقدر عدد الميكروبات التي لها القدرة علي تحليل المواد البروتينية في التربة الزراعية (ميكروبات النشرة Ammonifiers) من $(10^{-5} \text{ إلى } 10^{-7})$ لكل جم تربة علي حسب نوع المادة النيتروجينية العضوية وكذلك نوع التربة .

والميكروبات التي تحلل البروتين تشمل ميكروبات هوائية منها بكتيريا ،
أكتينوميستات ، وفطريات وميكروبات هوائية اختياراً وميكروبات لاهوائية
والأمثلة علي تلك الأجناس الميكروبية هي:

ميكروبات هوائية :

- بكتيريا: مثل - *Bacillus - Pseudomonas - Arthrobacter*
Micrococcus - Sporosarcina - Proteus
- أكتينوميستات: *Streptomyces*
- فطريات: - *Rhizopus - Penicillium - Alternaria*
Aspergillus.

ميكروبات لاهوائية :

وتشمل الكلوستيريديات المحللة للبروتينات *Proteolytic clostridia* مثل
Clostridium sporogenes

وبخصوص العوامل المؤثرة علي نشاط ميكروبات النشرة
Ammonifying organisms ونشرة النيتروجين *Factors affecting*
ammonification فإنه نظراً لأن الأنواع الميكروبية القادرة علي معدنة
النيتروجين العضوي عديدة ، فمنها الهوائية واللاهوائية والمتجرثة وغير
المتجرثة والحساسة للحموضة والمقاومة لها، والميزوفيلية والثرموفيلية إلخ
لذلك فإنه من المتوقع أن عملية النشرة تكون نشطة باستمرار بصرف النظر
عن الاختلافات في الظروف والبيئة ما دامت في الحدود التي لا تمنع النشاط
الميكروبي . وعلي ذلك فإن عملية النشرة لا تتوقف أبداً في التربة الخصبة،
وإنما تتحكم العوامل الطبيعية والكيميائية في معدلها (Rate) فقط . ولقد ثبت
أن معدل معدنة النيتروجين العضوي يرتبط ارتباطاً وثيقاً بمحتوي التربة من
النيتروجين الكلي *Total nitrogen* إذ كلما زادت النسبة زاد معدل النشرة

كما تؤثر كل من رطوبة التربة ، pH ، درجة الحرارة ، أنواع معادن الطين Clay minerals السائدة في التربة - علي معدل المعدنة . وبالإضافة إلي ما سبق، فإن نسبة الكربون إلي النيتروجين (C/N ratio) في المادة العضوية المتحللة تعتبر من أهم العوامل المؤثرة علي معدل معدنة النيتروجين العضوي (ولقد سبق لنا معالجة هذه النقطة في التحولات الميكروبية للمركبات الكربونية).

ب. التآزت Nitrification

تم إدراك نور الميكروبات في أكسدة الأمونيا إلي نترات بعد أن عزل Winogradsky في ١٨٩٠م بكتيريا التآزت. وعملية التآزت (النترنة) تتم بأكسدة الأمونيا المتكونة بالتربة أثناء عملية تحلل المادة العضوية النيتروجينية إلي نيتريت. NO_2^- nitrite بعملية تسمى Nitrosification ثم إلي نترات NO_3^- nitrate بعملية تسمى Nitrification وبواسطة مجموعة متخصصة من الميكروبات تسمى ببكتيريا التآزت Nitrifying bacteria وتضمها عائلة واحدة تسمى Family Nitrobacteraceae بها عدد سبعة أجناس أربعة منها تؤكسد الأمونيا إلي نيتريت وتسمى ammonia oxidizers NH_3 وهي Nitrosomonas, Nitrospira, Nitrosococcus, Nitrosolobus

وللثلاثة أجناس الأخرى تؤكسد النيتريت إلي نترات أي NO_2^- nitrite oxidizers وهم Nitrobacter, Nitrospina, Nitrococcus

وكما سبق الإشارة ، فإن عملية التآزت تتم علي مرحلتين أولهما أكسدة الأمونيا إلي نيتريت بواسطة أفراد الأربعة أجناس ، والتي أهمها جنس Nitrosomonas ، كما يلي $2 \text{HNO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Energy} \longrightarrow 2 \text{NH}_3 + 3\text{O}_2$

ثم يقوم أفراد الثلاثة أجناس مؤكسدة النيتريت وأهمها *Nitrobacter* بالخطوة التالية $2 \text{HNO}_3 + \text{Energy} \longrightarrow 2 \text{HNO}_2 + \text{O}_2$

والميكروبات التي تقوم بالخطوتين السابقتين عبارة عن بكتيريا كيمولوتوتروفية هوائية تحصل على الطاقة اللازمة لها من عمليات الأكسدة المذكورة فقط و لذلك فهي كيموليتوتروفية حتماً ووضعت تقسيمياً في عائلة واحدة Fam. Nitrobacteraceae والأخيرة بدورها وضعت في مجموعة تقسيمية سميت Gram - negative, Chemolithotrophic Bacteria.

ومن أهم هذه الأجناس البكتيرية شيوعاً في الأراضي الزراعية جنس *Nitrosomonas* ، ومن أكثر الأنواع التي تتبعها انتشاراً جنس *Nitrosomonas monocella* ، *N.europaea* ، *Nitrobacter Nitrosomonas* *monocella* ، *N.europaea* ، *Nitrobacter Nitrobacter agilis* ، *N.winogradskyi*

وبالرغم من أن عملية التآزت تتم أساساً بواسطة البكتيريا الكيمولوتوتروفية سابقة الذكر ، إلا أنه لوحظ أن عملية أكسدة الأمونيا إلى نترات NO_3 يمكن أن يقوم بها بعض الميكروبات الهتروتروفية Heterotrophes أيضاً ، ولكن هذه الميكروبات بالطبع لا تستخدم عملية الأكسدة كمصدر رئيسي للطاقة إذ تحصل على طاقتها من المركبات العضوية . ونظراً لأن عملية التآزت تقوم بها مجموعة محدودة من الميكروبات شديدة التخصص ، فمن المتوقع أن يكون تأثير العوامل البيئية عليها واضحاً وشديداً وذلك بعكس العمليات البيولوجية التي تتم بواسطة مجموعة واسعة من الميكروبات ، مثل عملية النشطرة Ammonification فإنها نادراً ما تتوقف على تغيير الظروف طالما بقيت هذه الظروف حول

الحدود المعقولة . وعلى أية حال ، يمكن تلخيص العوامل التي تؤثر علي بكتيريا التآزت فيما يلي:

١ - الرقم الأيدروجيني (pH)

تعتبر الحموضة (pH) من أهم العوامل البيئية التي تؤثر علي عملية التآزت ، فلقد وجد أن الحموضة المناسبة لنمو هذه البكتيريا تقع بين رقمي ٧ ، ٩ pH . بل وجد أيضا نشاطا لهذه البكتيريا في ظروف أكثر قلوية . ونقل فاعلية هذه البكتيريا بدرجة ملحوظة عندما يقل الرقم الأيدروجيني عن ٦ pH وإضافة الجير لهذه الأراضي يكون له أثر إيجابي علي ميكروبات التآزت.

٢ - التهوية Aeration

من المعروف أن البكتيريا التي تقوم بعملية التآزت هوائية إجبارا (حتمًا) ويقت عملها تماما عندما يكون الوسط لا هوائي ، ولذلك فتهوة الأرض بالعزق والحرث مفيدة لهذه البكتيريا ونشاطها.

٣ - الرطوبة Moisture

ثبت أن التنفس والنمو والتمثيل لهذه البكتيريا يكون مثاليا في درجة رطوبة تصل إلى حوالي 50 % من قدرة حفظ التربة للماء (W.H.C). ومن المعلوم أن نسبة الرطوبة تؤثر بدورها تأثيرا مباشرا علي نسبة التهوية بالأرض.

٤ - إضافة أملاح الأمونيوم Addition of ammonium salts

٥ - الحرارة Temperature

درجة الحرارة المثلي لهذه البكتيريا ونشاطها تتراوح بين ٣٠-٣٥°م

ثانياً: فقد النيتروجين من التربة Nitrogen loss from soil

هناك عمليات يفقد النيتروجين بواسطتها من التربة ، وتشمل فقد بيولوجي والذي يحدث نتيجة لعمليات إختزال النترات وأنطلاق الأزوت العنصري ، وتمثيل النيتروجين في النباتات والميكروبات ، وفي بعض هذه الحالات يكون الفقد مؤقتاً. وفقد غير بيولوجي مثل الفقد الكيميائي ، والفقد بالترشيح أو الصرف والتطاير علي صورته NH_3 ، كما أن زيادة القلوية بالأرضي تساعد علي تطاير الأمونيا بكميات ملحوظة عند الرقم الأيدروجيني الأعلى من pH8 . كما تساعد درجات الحرارة العالية علي تشجيع التطاير Volatilization. وسوف نتعرض هنا للفقد البيولوجي لدخولة في دائرة إختصاصنا والذي يتم عن طريق إختزال النترات Nitrate reduction وهي تحدث كما يلي:



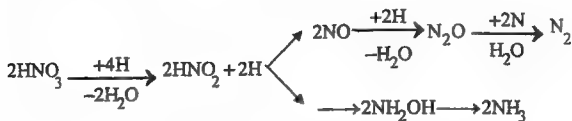
وهذه العملية يلاحظ أنها عكس عملية التآنت تماماً

وتحرير وإطلاق النيتروجين العنصري Denitrification وفيها



وقد تختزل النترات في التربة الزراعية تحت الظروف غير الهوائية بواسطة أنواعاً كثيرة من البكتيريا الأوتوتروفية والهتروتروفية .

ويمكن توضيح ميكانيكية حدوث إختزال النترات وكذا انطلاق الأزوت العنصري ، وتفسير تكون للنواتج المختلفة - فيما يلي:



وتتم هذه التفاعلات بواسطة مجموعة من الإنزيمات تقع بالغشاء الميتوبلازمي للخلية ، فالإنزيم الذي يقوم بالخطوة الأولى من التفاعل يسمى Nitrate reductase وهو يتطلب وجود المولبدنوم Mo ليقوم بنشاطه ، ثم يتم إختزال النترت NO_2^- إلى أكسيد النيتريك NO بواسطة إنزيم Nitrite reductase ثم تختزل أكسيد النيتريك إلى أكسيد نيتروز N_2O بواسطة إنزيم Nitric oxide reductase ، ثم يختزل أكسيد النيتروز أخيراً بواسطة إنزيم Nitrous oxide reductase إلى غاز النيتروجين N_2 .

أما من ناحية إختزال النترات NO_3^- إلى أمونيا NH_3 ، فإنه بعد تكون النيتريت NO_2^- لم يمكن توضيح الخطوات الوسيطة التالية وإن كان يفترض تكون Hydroxylamine (NH_2OH) كناتج وسطي رئيسي ولكن ذلك غير مؤكد الآن.

وعمليتي إختزال النترات ، وإطلاق الأزوت العنصري من الواضح أنهما يقللان من مستوي النيتروجين المجهز للنبات في التربة . وتحدث عملية الإختزال هذه تحت الظروف اللاهوائية مثل غمر التربة بالماء أو عند وجود نسبة عالية من المواد العضوية القابلة للأكسدة في التربة . وفي هذا النوع من التنفس اللاهوائي تستخدم الميكروبات النترات في عملية أكسدة المواد العضوية والمعدنية ، كمستقبل للإلكترونات ، ونتيجة لذلك تختزل النترات . والظروف التي تساعد على حدوث العمليتين - تتضمن الأتي:

١ - سيادة الظروف اللاهوائية في التربة.

٢ - وجود نسبة عالية من المواد العضوية القابلة للأكسدة في التربة ، لأن وجود مثل هذه المواد يشجع النشاط للزائد لميكروبات التربة ، وبالتالي يؤدي إلي إستهلاك الأكسجين مما يدفع للميكروبات إلي إستخدام النترات NO_3^- في أكسدة المواد العضوية والمعدنية الموجودة بالتربة.

٣ - درجة الرطوبة الأرضية: لها تأثير واضح علي العمليتين لما لها من إنعكاس علي تهوية التربة ، لذلك فإن غمر الأرض بالماء يزيد من إختزال النترات وإطلاق الأزوت العنصري . لهذا السبب فإن أراضي الأرز لا تسمد بسماد نتراتي ، ولكن يفضل لها الأسمدة الأمونيومية.

٤ - درجة الحموضة : لوحظ ان كثيراً من ميكروبات إختزال النترات وإطلاق الأزوت العنصري حساسة للحموضة ، ولذا فإن أعدادها تكون قليلة في الأراضي الحامضية وتزداد أعداد هذه الميكروبات ونشاطها في الأراضي المتعادلة والمائلة للقلوية

٥ - درجة الحرارة : لها تأثير أيضا علي العمليتين .

والميكروبات التي تقوم بعمليتي إختزال النترات وإطلاق الأزوت العنصري ليست متخصصة ، فكثير منها يستطيع في الظروف العادية تحليل البروتين وإحداث عملية النضرة Ammonification وغيرها من العمليات الحيوية ، وكلها تقوم عند سيادة الظروف اللاهوائية بعمليات الإختزال للنترات . وعلي هذا فإن وجود أعدادا كبيرة من الميكروبات القادرة علي إختزال النترات وإطلاق الأزوت ليس معناه أن عملية الإختزال نشطة بالتربة ما لم تتوفر الظروف الملائمة لحدوثها، وأهمها سيادة الظروف اللاهوائية وتوفر المواد القابلة للأكسدة . ومتي توفرت هذه الظروف ، فإن

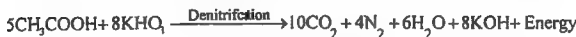
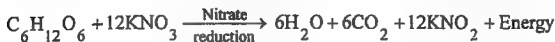
هذه الميكروبات تتحول إلى عمليات الإختزال الضارة بخصوبة التربة. وتجدر الإشارة هنا بأن ذلك الوضع يختلف بالنسبة للميكروبات المتخصصة مثل بكتيريا التآزت *Nitrifying bacteria* لأن وجود مثل هذه البكتيريا بأعداد كبيرة معناه أن عملية التآزت *Nitrification* نشطة فعلا .

وعموما ، تحتوي الأرض الزراعية علي أعداد كبيرة من بكتيريا إختزال النترات قد تصل إلي أكثر من 10^6 /جم تربة. وتكون أعداد هذه البكتيريا أكبر ما يمكن حول جذور النباتات . أما من ناحية أنواع الميكروبات القادرة علي إحداث الإختزال ، فإن هذه الخاصية لم تشاهد بين أنواع الفطريات و الأكتينومايسات . أما البكتيريا التي تقوم بهذه العملية فتتضمن أنواعا تتبع لأجناس عدة مثل : *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Hyphomicrobium*, *Paracoccus*, *Bacillus*, *Serratia*, *Corynebacterium*, *Chromobacterium*

ويعتبر الميكروب *Thiobacillus denitrificans* مثلاً للبكتيريا الأوتوتروفية القادرة علي إنطلاق الأزوت العنصري في التربة . وعموما ، فإن الميكروبات القادرة علي إختزال النترات وإنطلاق الأزوت كلها ميكروبات لاهوائية أختيارا حيث تستخدم الأكسجين الجوي في الأكسدة في الظروف الطبيعية ، وعند غياب الأكسجين تقوم بالأكسدة عن طريق إختزال النترات . وكما سبق أن ذكرنا ، فإن الميكروبات تقوم بإختزال النترات بهدف أكسدة المواد العضوية والمعدنية للحصول علي الطاقة تحت الظروف اللاهوائية ، ويمكن تمثيل التفاعلات التي تحدثها الميكروبات كالآتي :

Heterotrophs

الميكروبات الهتروتروفية



Autotrophs

الميكروبات الأوتوتروفية

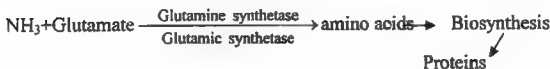


Dinitrogen fixation تثبيت النيتروجين الجوي

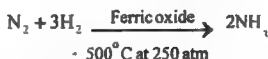
المقصود بعملية التثبيت الجوي (Diazotrophy) Biological fixation ، هو استخدام نيتروجين الهواء الجوي بواسطة الميكروبات (جدول رقم ٢١) لبناء بروتوبلازم الخلايا الحية . والقدرة علي التثبيت بيولوجيا ، موجودة في عدد من ميكروبات بدائيات النواة Procaryotes والتي تحتوي جميعها علي الإنزيم المثبت لنيتروجين الهواء الجوي ، وهو النيتروجين Nitrogenase كما تمتلك بعض الإيوكاريوتات Eucaryotes مثل الخمائر هذه الخاصية أيضا حيث يتم التفاعل التالي:



وعلي أية حال فإن شكل رقم ١٨ يوضح المسارات المحتملة لإختزال النيتروجين الجوي. والأمونيا المثبتة داخل جسم الميكروب تمثل لبناء مواد بروتينية كما يلي :



وفي الطبيعة ، فإن عملية تثبيت النيتروجين الجوي تلي في الأهمية عملية التمثيل الضوئي Photosynthesis لإستمرار الحياة علي الأرض . ويتم إنتاج الأمونيا في عملية التثبيت البيولوجية علي درجة الحرارة والضغط الجوي الموجود ، ولكن في الطريقة الكيميائية الشائع إستخدامها ، وهي طريقة Haber Bosch ، فإن إنتاج الأمونيا بإستخدام نيتروجين الجو وهدروجين الغازات الطبيعية يتم في وجود حرارة وضغط مرتفعين مع عوامل مساعدة Catalysts - حسب المعادلة التالية:



ونظراً للارتفاع الرهيب في أسعار الإنتاج للأسمدة النيتروجينية في السنوات الأخيرة من القرن السابق ، فإن الإتجاه الآن هو محاولة الإستفادة الكاملة من عملية التثبيت البيولوجي ، للحد من إستعمال الأسمدة المعدنية الأزوتية والتي أصبحت أسعارها في غير متناول اليد ، كما يسبب الإفراط في أستعمالها تلوثاً للمياه الجارية والنباتات والتربة الزراعية . وبالنظر إلي الجدول رقم ٢١ يتضح أن مثبتات النيتروجين الجوي في معظمها عبارة عن بروكاريوتات Procaryotes سواء كانت بكتيريا أو طحالب خضراء مزرقة ولكن هناك قلة من الأيوكاريوتات ومنها الخمائر وربما كان عدم الإهتمام بدراسة التثبيت البيولوجي للنيتروجين بواسطة الخمائر هو السبب في ندرة المعلومات عن دورها في هذه العملية الهامة . إلا إنه ثبت قدرة *Rhodotorula sp.* المعزولة من التربة علي تثبيت النيتروجين الغازي N_2 .

وفيما يلي سوف نتعرض بالحديث عن بعض الميكروبات الهامة في تثبيت النيتروجين الجوي علي حسب العرض المبينة بجدول رقم ٢١

A:Free – living N_2 – fixing organisms

Table 21 : Biological agents that fix N₂

A / Free – living diazotrophs

	Heterotrophs	Autotrophs
	Azotobacteraceae	I: Phototrophs A:Oxygenic (Blue-green algae)
Aerobic	<ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Azotobacter</u> 2. <u>Azomonas</u> 3. <u>Beijerinckia</u> 4. <u>Derxia</u> 5. <u>Azotococcus</u> 	<ol style="list-style-type: none"> a. <u>Unicellula</u> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Gloeocapsa</u> 2. <u>Synchococcus</u> 3. <u>Myxosarcina</u>
Microaerophilic	<ol style="list-style-type: none"> # <u>Spirillaceae</u> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Azospirillum</u> 2. <u>Aquaspirillum</u> 3. <u>Campylobacter</u> 	<ol style="list-style-type: none"> b. <u>Filamentous, non-heterocystous</u> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Spirulina</u> 2. <u>Lyngbya</u> 3. <u>Plectonema</u> 4. <u>Phormidium</u> 5. <u>Oscillatoria</u> 6. <u>Pseudoanabaena</u>
Facultative	<ol style="list-style-type: none"> # a: <u>Bacillaceae</u> <u>Bacillus</u> # b: <u>Enterobacteriaceae</u> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Klebsiella</u> 2. <u>Enterobacter</u> 3. <u>Enchenichia</u> 4. <u>Erwinia</u> 5. <u>Citrobacter</u> 	<ol style="list-style-type: none"> c. <u>Filamentous and heterocystous</u> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Anabaena</u> 2. <u>Aulsira</u> 3. <u>Nostoc</u> 4. <u>Calothrix</u> 5. <u>Tolypthrix</u> 6. <u>Scytonema</u> 7. <u>Fischerella</u> 8. <u>estiellopsis</u> <p>B: Anoxygenic: a: <u>Rhodospirillaceae</u> <u>Rhodospirillum</u>, <u>Rhodopseudomonas</u></p>
Anaerobic	<ol style="list-style-type: none"> # <u>Bacillaceae</u> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>clostridium</u> 2. <u>Desulfotomaculum</u> # <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Desulfovibrio</u> 2. <u>Methanobacterium</u> 	<p><u>Rhodomicrobium</u></p> <ol style="list-style-type: none"> b: <u>Chromatiaceae</u> <u>Chlorobiaceae</u> <u>Chromatium</u> , <u>Thiocystie</u> <u>Thiocapsa</u> , <u>Amoebobacter</u> <u>Ectothiorhodospira</u>

Yeasts: <i>Rhodotorula</i>	II : chemosynthetic bacteria <i>Thiobacteriaceae</i> <i>Thiobacillus</i>
B: Symbiotic diazotrophs	
<i>Rhizobium</i> <i>Bradyrhizobium</i>	nodules on legumes
<i>Frankia</i>	
	nodules on non-legumes

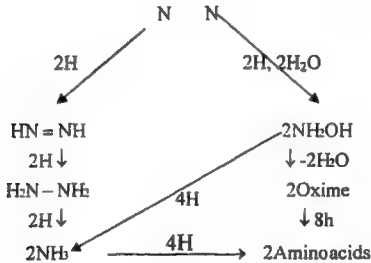


Fig. 18 : Possible pathways for reduction of N_2

الكائنات المثبتة للنيتروجين بطريقة حرة (تثبيت لا تكافلي)

أولاً: الميكروبات الهتروتروفية **Heterotrophic microorganisms**

أ: البكتيريا الهوائية ، وتضم عائلة **Azotobacteraceae** ومنها الأجناس :

Azotobacter: تثبت أفراد هذا الجنس نيتروجين الهواء الجوي هوائياً ، ويشترط وجود الأكسجين لنموها. وخلايا الميكروب كبيرة الحجم بالنسبة لبكتيريا التربة الأخرى ، ويتراوح طولها من ٥-٧ ميكرون وعرضها (١٤٩)

يتراوح من ٣-٤ ميكرون . وشكل للميكروب شبه كروي أو بيضاوي أو عصوي أحيانا ، توجد الخلايا فرديا أو في أزواج ، وتحتوي الخلية في بعض الأحيان علي جسم يشبة الفجوة ، وتكون علي (غلاف) Capsule مخاطية. ومن الأنواع التي تعيش في التربة أساسا أي Typical soil inhabitant للنوع *Azotobacter chroococcum* وفيه تكون الصيغة بنية فاتحة أو غامقة ، متحرك. وكذلك النوع *Azotobacter beijerinckii* وفيه تكون الصيغة صفراء أو لا يكون صبغه، غير متحرك.

ومن أنواع الجنس التي تعيش أساسا في المياه Typical water inhabitant للنوع *Azotobacter vinelandii* والخلايا متحركة بسرعة وتكون أصباغ خضراء مصفرة إلي حمراء أرجوانية قابلة للذوبان في البيئة Diffusible or soluble pigments

والأزوتوباكتر لا يستطيع أن يحلل السليلوز أو المواد العضوية المعقدة بالتربة الزراعية، لذلك فإنه كثيرا ما يحصل علي الطاقة اللازمة بالمعيشة بالتعاون مع ميكروبات التربة الأخرى التي تحلل هذه المواد وتنتج السكريات والأحماض العضوية وغيرها والتي تستعمل كمصدر للطاقة. وتستطيع بذلك أن تثبت الأزوت الجوي بالتربة.

ولقد ثبت أن الأزوتوباكتر يمكنه أن يثبت 18 ملليجرام نيتروجين / 1 جم سكر يؤكسد . والنيتروجين يثبت في أجسام الخلايا علي هيئة بروتينات غالبا ، وكلما كان الوسط خاليا من أملاح النيتروجين المعدنية مثل أملاح الأمونيا والنترات فإن التثبيت يكون أكثر ، والعكس صحيح ، ولكن لابد من توافر مصادر الطاقة اللازمة لها.

وعنصر الفسفور مهم جداً للأزوتوباكتر ، وكذلك درجة الحموضة pH لها تأثير كبير علي نمو و التمثيل حموضة لنموه تقع بين 6.0-8.5 pH تقريباً. وعلي ذلك فإن الأراضي المتعادلة أو التي تميل قليلاً إلي القلوية ينتشر بها الأزوتوباكتر علي نطاق واسع وذلك بعكس الأراضي الحامضية حيث يكون إنتشاره بها ضعيفاً ومعدوما وهذه البكتيريا ميزوفيلية أي أن درجة الحرارة المثلي لها تقع بين ٣٠-٥٠ م .

Beijerinckia: يرتبط جنس البيارنكيا ارتباطاً وثيقاً بجنس الأزوتوباكتر حيث أن الأول أصغر من الأزوتوباكتر وهي عصوية تحتوي علي أجسام دهنية من طراز PHB في طرفي الخلية، كما يمكن تمييزها عن الأزوتوباكتر بكثرة إفرازها للمواد السكرية المعقدة التركيب علي البيئات الصناعية، وهذه تعطي قوالم هلامي لزج ، كما يمكن تمييزها بعدم إحتياجها للكالسيوم الذي يثبط نموها ، وتتحمل نطاق واسع من الحموضة يتراوح بين 3.5-9.5 pH . ولو أن معدل نموها ، أقل من للزوتوباكتر إلا أن قدرتها علي تثبيت النيتروجين تكون كبيرة ، فقد تصل إلي ٢٠ ملليجرام نيتروجين / ١ جم سنكر يؤكسد أي يستهلك.

وهناك فرقاً واضحاً بين جنسي *Azotobacter* , *Beijerinckia* من حيث الإنتشار الجغرافي لأفرادها فالأزوتوباكتر ينتشر في جميع بقاع العالم بالأراضي ذات الـ pH القريب من التعادل والمحتوية علي مصادر الطاقة بكمية وفيرة ، كما توجد في مياه البحيرات والأنهار والمياه المالحة للمحتوية علي الطحالب والأعشاب البحرية . أما البيارنكيا فتنتشر علي نطاق واسع في الأراضي الحامضية والمناطق الإستوائية، علاوة علي أنها تستطيع تحمل

نطاق واسع من الحموضة حيث يمكنها أن تعيش في الأراضي ذات الحموضة العالية . ومن الأنواع التي تتبع هذا الجنس:

Beijerinckia mobilis ، *Beijerinckia indica*

Azospirillum: كان يسمى سابقا جنس *Spirillum*. ولكن بعد أن ثبت قدراته ١٩٧٦م علي تثبيت النيتروجين أطلق عليه الاسم الجديد وأفراد الأروسبيريلللام حلزونية قصيرة (ولوي أو ذو ثنيتين) سالبات لجرام غير متجرشة تكون قشرة Pellicle بيضاء تحت سطح البيئة السائلة أو شبه الصلبة . المستعمرات Colonies بيضاء أو وردية اللون علي البيئة الصلبة. وتحتوي الخلايا البكتيرية علي حبيبات من PHB (Poly β -hydroxy butyrate) حيث تعتبر هذه المادة أحد الصور الهامة لتخزين الغذاء وكذا مصدرا للطاقة ، وهي توجد عادة في الميكروبات المثبتة لأزوت الهواء الجوي عموماً . وينتأوح محتوي الخلايا من مادة PHB من 7.7% إلي 33.3% وزناً علي حسب عمر المزرعة حيث أن العلاقة طردية . ومصادر الكربون المثلي لأفراد هذا الجنس هي حمض المالك أو الجلوكوز.

ومن الأنواع التي تتبع هذا الجنس وتوجد منتشرة في التربة النوعان:

1 - *Azospirillum brasilienses*

2 - *Azospirillum lipoferum*

وأفراد الجنس حساسة للحموضة ويناسبها الوسط المتعادل . ويحصل الميكروب علي للطاقة من أكسدة الأحماض العضوية مثل اللاكتيك أو المالك، ويمكن للميكروب أن ينمو جيداً في بيئة بها جلوكوز أو سكروز ، ولكن هذه المصادر الكربونية تشجع نمو الميكروبات الأخرى معه بالبيئة.

وتعزل بكتيريا هذا الجنس عادة علي بيئة نصف صلبة Semi-solid بها مالات الكالسيوم ومستخلص الخميرة ، والميكروب ينتشر في أراضي المناطق الإستوائية وتحت الإستوائية ، ويوجد بكثرة في الأراضي الموجود بها حشائش Grasses ومحاصيل الحبوب كالذرة والقمح والأرز وقصب السكر ، وتكثر أعداده في منطقة للجذور.

وأفراد الجنس تثبت النيتروجين في الحالة الحرة Free - living أو بالتعاون مع جذور بعض النباتات مثل الذرة ونبات Digitaria حيث وجدت البكتيريا علي سطوح الجذور أو في الـ Middle lamellae لخلايا الجذور، ويحتمل أنه يدخل إلي تلك المناطق بالجذر بمساعدة ما يفرزه من إنزيمات محللة للبكتين . ونظرا لمقدرة هذه البكتيريا علي تثبيت النيتروجين الجوي في الحالة الحرة أو بالتعاون مع الجذور فيطلق عليها تعبير "مثبتات النيتروجين نصف تكافلية Semi - symbiotic N₂-Fixers" ويثبت الميكروب النيتروجين بكفاءة تقارب كفاءة ميكروبات الأزوتوبلازمت ، فهو يثبت بمعدل حوالي 5 كيلو جرام N/1000 متر مربع / سنة وتجرى الآن علي مستوى بلدان عديدة من العالم ، دراسات إيمان استخدام كلقاح يضاف للتربة ، خاصة في محاصيل النجيليات كالذرة لإغناء التربة بالنيتروجين ، كما يمكن إستخدامه بتلقيح البذور عند زراعتها ، وذلك بعد تنمية الميكروب في بيئة سائلة بها قليلا من الصمغ العربي كمادة لاصقة، وبعد النمو نصب بيئة الزرع علي البذور فتلتصق بها الخلايا الميكروبية.

ولقد عزلت Dobereiner عام ١٩٨٤م نوعا جديدا بمناطق الأمازون بأمريكا الجنوبية وأسمته *Azospirillum amazonenses* يوجد بكثرة في أراضي النجيليات والنخيل وتصل أعداده علي أسطح الجذور بهذه النباتات

إلى 10^6 /جم . ولقد أوضحت البحوث ان النباتات ذات النظام التمثيلي الضوئي C_3 مثل الأرز ، القمح ، الشعير ، الشيلم ، الشوفان تتعايش بدرجة أكبر مع *Azospirillum barzilienses* أما النباتات ذات النظام C_4 (مثل الذرة ، والذرة السكرية ، ونباتات المراعي) فإنها تتعرض بسرعة للغزو بسهولة من *Azospirillum lipoferum* .

ب - البكتيريا غير الهوائية :

وتضم أفراد من جنس *Clostridium* حيث تستطيع كثيراً من أنواع هذا الجنس تثبيت النيتروجين الجوي لا هوائياً، ومن أهمها ميكروب *Clostridium pasteurianum* وهو من الميكروبات اللاهوائية حتماً الموجبة لجرام ، المتجذمة يجرثومة طرفية أو قلبية من الطرف مع حدوث إنعاج . ولقد وجد أن أعداد هذا الميكروب بالتربة الزراعية قد يزيد على 10^5 /جم ، وهو يساوي أو يزيد عن أعداد الأروتوباكتر *Azotobacter* مما يدعو للإعتقاد بأهمية الدور الذي يلعبه *Cl.Pasteurianum* خاصة في الأراضي الحامضية وتحت الظروف اللاهوائية.

ثانياً: الميكروبات الممثلة للضوء Phototrophic Microorganisms

كثيراً من أنواع البروكاريوتات الممثلة للضوء تستطيع تثبيت النيتروجين ، ويمكن تقسيمها إلى مجموعتين كبيرتين هما الكائنات الممثلة للضوء ، غير الأكسijينية *Anoxygenic phototrophic organisms* وهي تقوم بالتمثيل الضوئي تحت الظروف اللاهوائية ، وآلا ينطلق الأكسجين عن العملية. الكائنات الممثلة للضوء الأكسijينية *Oxygenic phototrophic organisms* وهي الطحالب الخضراء المزرققة ، وتتميز بكونها تقوم بالتمثيل الضوئي بطريقة مشابهة للنباتات الراقية ويخرج بالتالي أكسجين من عملية

البناء الضوئي . وفيما يلي سوف نتناول كل من هاتين المجموعتين بنوع من الإيجاز كما يلي:

1. Anoxygenic Phototrophic organisms

تتضمن أنواع البكتيريا الممثلة للضوء غير الأكسجينية المثبتة للنيتروجين الجوي ثلاثة مجموعات كما يلي:

أ. بكتيريا أرجوانية غير كبريتية **purple non-sulfur bacteria** وهي عائلة *Rhodospirillaceae*، وأفرادها تستطيع إستخدام المواد العضوية أيضا كمصادر للكربون والطاقة في غياب الضوء . ومن الأجناس التي تتبعها وتجر الإشارة لها: *Rhodopseudomonas*, *Rhodomicrobium*, *Rhodospirillum*

ب. بكتيريا أرجوانية كبريتية **purple sulfur bacteria** وهي عائلة الـ *Chromatiaceae*، وأفرادها تستخدم H_2S أو الكبريت كمستقبل للإلكترونات في التمثيل الضوئي وفي حالة إستخدامها للـ H_2S يترسب الكبريت الناتج من الأكسدة داخل الخلايا ومن الأجناس الهامة لهذه العائلة: *Ectothiorhodospira*, *Chromatium*

ج. البكتيريا الخضراء الكبريتية **Green sulfur bacteria** وهي عائلة *Chlorobiaceae* وكذلك البكتيريا الخضراء غير الكبريتية **Green non-sulfur bacteria** وهي عائلة *Chloroflexaceae* . وتستخدم أفراد العائلة الأولى الـ H_2S كمستقبل للإلكترونات في عملية البناء الضوئي حيث يترسب الكبريت الناتج عن الأكسدة خارج الخلايا قبل أن يتأكسد ثانيا إلى كبريتات SO_4 في مرحلة ثانية ومن أجناس هذه العائلة: *Chlorobium*, *Clathrochloris*

أما العائلة الثانية فتضم بكتيريا تستطيع إستخدام المواد العضوية كمستقبلات للإلكترونات ولذلك فهي Photoorganotrophic .

2. Oxygenic Phototrophic organisms:

وهذه المجموعة من الكائنات المثبتة للنيتروجين هي عبارة عن طحالب خضراء مزرقّة، وهي ذات قدرة علي التمثيل الضوئي تماثل النباتات الراقية ، مستعملة الماء كمعطي نهائي للإلكترونات ولذلك فإنها تنتج O_2 أثناء العملية. ويوجد من تلك الطحالب أكثر من ٦٠ نوعاً لها القدرة علي تثبيت النيتروجين ، يمكن وصفها في ثلاثة مجموعات وهي:

أ. الأنواع الخيطية التي تكون هتروسيست مثل Heterocystous filamentous forms

Nostoc, Anabaena, Aulosira, Calothrix, Westiellopsis, Fischerella, Tolypothrix, Cylindrospermum

ب. الأنواع الخيطية التي لا تكون هتروسيست Non- Heterocystous Filamentous Forms مثل

Phormidium, Lyngbya, Spirulina, Oscillatoria, Plectonema

ج. الأنواع وحيدة الخلية Unicellular forms مثل
(*Gloeotheca*) *Gloeocapsa, Aphanothea*

تفقيح التربة بالميكروبات اللاكافية المثبتة للنيتروجين الجوي:

اتجهت البحوث إلي زيادة أعداد الميكروبات المثبتة للنيتروجين في الأراضي لزيادة معدل التثبيت ، وإمداد النباتات باحتياجاتها من النيتروجين ، مع تقليل التسميد النيتروجيني نظراً لما يحيط به من مشاكل التلوث والفقد والتكلفة . والدراسات علي تفقيح التربة أو البنور بالأزوتوباكتر يسمي للقاح

Azotobacterin أو الطحالب الخضراء المزرقة Algalization عديدة ، ونتائجها مشجعة . ولقد أظهرت الدراسات أن محاصيل الذرة والبطاطم والجزر والقطن تستفيد من عملية التلقيح بالأزوتوباكتر حتي تصل الزيادة في المحصول إلي ١٠% أو أكثر.

ومع أن الدراسات بالنظائر المشعة أو بتقدير النيتروجين لم تثبت بوضوح وتأكيد زيادة معنوية في محتوى التربة من النيتروجين إلا أن الأثر علي المحصول كثيرا ما يكون واضحا وهذا أدى إلي أن كثير من الباحثين عزى أثر التلقيح بالأزوتوباكتر ليس فقط لأنة مثبت للنيتروجين ، ولكن لأن الميكروب قادر علي إنتاج هورمونات ومنظمات نمو تشجع نمو النباتات وزيادة المحصول ولقد أمكن بالفعل عزل كثير من الأندولات والجبريلينات من مزارع الأزوتوباكتر.

أما الدراسات علي إستخدام الطحالب الخضراء المزرقة فهي محدودة علي محصول الأرز ، وذلك نظرا لأن هذه الطحالب تحتاج إلي رطوبة عالية لنموها . ولقد أثبت كثير من التجارب نجاح التلقيح في زيادة محصول الأرز . وهناك محاولات جادة في بلدان كثيرة من العالم ومنها جمهورية مصر العربية وذلك منذ ١٩٧٧م في إنتاج اللقاحات من الطحالب الخضراء المزرقة بشكل تجاري علي وسط صلب لتلقيح الأراضي بها أسوة بما هو متبع في الريزوبيا Rhizobia مثل *Rhizobium* - *Bradyrhizobium spp.* في مصر وغيرها من بلدان العالم.

الكائنات المثبتة للنيتروجين الجوي تكافليا (معاشرة)

Symbiotic N₂ – fixing organisms (Symbiotic diazotrophs)

يقوم عدد كبير من البكتيريا والأكتينومايسينات وبعض الطحالب الخضراء المزرقمة بتثبيت الأزوت الجوي في عقد جذرية بالأشترار مع بعض نباتات معراة البنور Gymnospermae وكذا مغطاة البنور Angiospermae وفيما يلي نلخص أهم صور التكافل في العقد الجذرية:

١- التكافل بين الرايزوبيا والنباتات البقولية Rhizobia-legume

. symbiosis

٢- التكافل بين الرايزوبيا والنباتات غير البقولية Rhizobia-non

. legume symbiosis

٣- التكافل بين الأكتينومايسينات وغير البقوليات Actinomycetes-non

.legume

٤- التكافل بين الطحالب الخضراء المزرقمة ومعراة البنور Blue green

algae- gymnospererms symbiosis كما في السيكاس والزاميا

والماكروزاميا. وفيما يلي سنتعرض لكل من هذه الصور

أولا: البكتيريات العقدية للنباتات البقولية

عُرف منذ زمن طويل ما للنباتات البقولية من أثر كبير في خصوبة التربة ووفرة المحاصيل الأخرى التي تأتي بعد البقوليات ، مثل الحبوب . ولقد فحص حتى الآن حوالي ١٥% من النباتات البقولية علي مستوى العالم من حيث تكون العقد الجذرية ، أما الـ ٨٥% الباقية من البقوليات (أفراد العائلة) ، وأغلبها حشائش فلم يتم فحصها للآن .

وتتم عملية تثبيت النيتروجين بواسطة البكتيريا العقدية التابعة لجنس *Bradyrhizobium* , *Rhizobium* داخل العقد الجذرية ، حيث تعيش هذه الميكروبات مع النباتات البقولية معيشة تكافلية (تبادل منفعة) ، فالنبات يمد الميكروب بما يحتاجه من المواد العضوية وغير العضوية اللازمة له ، بينما تمد الميكروبات النبات بالمواد النيتروجينية ، وذلك بأن تثبت النيتروجين الجوي في النبات . وهذه الميكروبات تعيش حرة في التربة الزراعية ويمكن زراعتها علي البيئات الصناعية في المعمل ، ولكنها في كلتا الحالتين سواء كانت حرة في التربة وكذا علي البيئات الصناعية لا تستطيع أن تثبت النيتروجين الجوي إذ أن تثبيت النيتروجين مرتبط بالمعيشة المشتركة للنباتات والميكروبات معا (Symbiotic life) . ويسمي الميكروب في تلك المعيشة " بالمتكافل الصغير Microsymbiont " . ويكون الميكروب في التربة الزراعية أو البيئات الصناعية عصوي قصير ، غير متجزم ، سالب الجرام ، ميزوفيلي Mesophile ، ينمو جيدا علي بيئة المانيتول ومستخلص الخميرة أو المانيتول ومستخلص أوراق النبات البقولي المتخصص معه حيث أن مستخلص الخميرة أو أوراق النبات تحتوي علي المواد النشطة اللازمة للبكتيريا . وتحتوي البكتيريا علي حبيبات كروماتين وحبيبات PHB التي تصطبغ بالسودان سوداني Sudan black ، أما مع الصبغ العادي فإنها تظهر غير مصبوغة مما يعطي خلايا الميكروب شكلا مخططا (محزما) Banded rods.

وهذه البكتيريا يمكنها أن تحلل العديد من الكربو ليندرات مع تراكم الحمض في بعض الأحيان ، ولكنها لا تكون غاز ، كما أنها أثناء نموها خاصة في العقد الجذرية تفرز بعض منشطات النمو النباتية مثل مشتقات الإندول وحمض الجيرنيليك والميتوكينين .

ويظهر الميكروب في المزارع الحديثة النشطة بشكل عصوي 4×1 ميكرون وقد تُرَى بعض الخلايا في شكل كروي ، بينما تظهر في العقد الجذرية بأشكال مختلفة متفرعة أو غير منتظمة مثل T,Y,L,X,V وتعرف هذه الأشكال باسم بكتيرويدات "Bacteroids" . وهذه الأشكال نادراً ما تُرَى في المزارع النامية علي البينات الصناعية ، ولكن يمكن وجود السكر أو أي كميات قليلة من الأحماض العضوية أو الجلسرين في البيئة الصناعية مشجعا لظهور البكتيرويدات ، علي حين أن إضافة للفوسفات أو اللبِن يشجع الأشكال الكروية أو العصوية علي الظهور . وحجم البكتيرويد يتوقف علي نوع السلالة البكتيرية فهو كبير الحجم في سلالة رايزوبيا البسلة *R. leguminosarum* والمعزولة من نباتات البسلة ولكن صغيرة الحجم في سلالة الفول وهي من نفس نوع الرايزوبيا.

طبقاً لتقسيم البكتيريا (Bergey's Manual, 1984) فقد وضعت هذه الميكروبات في عائلة Rhizobiaceae والتي تضم أربعة أجناس منهم إثنان يكونان عقدا Nodules علي جنور البقوليات ويقومان بتثبيت الأزوت الجوي تكافلياً في العقد الجذرية ولا يفرزان مادة 3-Ketolactose والأجناس الأربعة للعائلة هم :

١. *Rhizobium*: أفراد سريعة النمو علي بيئة آجارمانيتول مستخلص الخميرة ، وتكون العقد علي جنور البقوليات في المناطق المعتدلة ، عادة تفرز أحماضاً بالبيئة.
٢. *Bradyrhizobium*: أفراد بطيئة النمو علي بيئة-آجارمانيتول مستخلص الخميرة. تكون العقد في جنور بقوليات المناطق الحارة و بعض بقوليات المناطق المعتدلة ، عادة تفرز مولد بالبيئة لها تأثير قلوي.
٣. *Agrobacterium*: لا تكون عقداً ولا تثبت الأزوت .

٤. *Phyllobacterium*: تكون عقداً علي أوراق بعض النباتات التابعة لعائلات Myrsinaceae, Rubiaceae ومقتررة أفراد هذا الجنس علي تثبيت الأزوت لا تزال موضع جدل.

وعلي أية حال يمكن تمييز أفراد جنس *Bradyrhizobium* , *Rhizobium* علي أساس أن أفراد جنس *Rhizobium* بكتيريا سريعة النمو Fast growing مثل بكتيريا مجموعة البرسيم الحجازي ومتوسط عمر الجيل حوالي ٤ ساعات ويصل أقصى نمو بعد ٤٠-٧٠ ساعة . وأفراد هذا الجنس تزيد من حموضة البيئة بعد نموها أما أفراد جنس *Bradyrhizobium* بكتيريا بطيئة النمو Slow growing مثل بكتيريات مجموعة اللوبيا *Cowpea bradyrhizobia* ومتوسط عمر الجيل بها حوالي ١٠ ساعات (٦-١٢ ساعة) ويصل أقصى نمو بعد ١٠٠-١٩٠ ساعة وهي تزيد من قلوية البيئة بعد النمو بها. هذا علاوة علي وجود فروقا سيروولوجية كبيرة بين أفراد الجنسين ولا يتسع المجال هنا للتعرض لها.

التخصص في البكتيريا العقدية :

يتضمن جنس *Rhizobium* , *Bradyrhizobium* المسببان للعقد الحذرية علي النباتات البقولية ، أنواعا عديدة . وتختلف الأنواع حسب نوع النبات العائل الذي يصيبه فكل نبات بقولي أو مجموعة من النباتات البقولية جنس معين يكون العقد عليه أما باقي الأنواع فأنها غير قادرة علي غزو هذه النباتات أو قد يغزوه ولكنها تكون عقدا ضعيفة غير قادرة علي تثبيت النيتروجين . ونسمي مجموعة النباتات البقولية التي يغزوها نوع واحد من البكتيريا العقدية باسم " مجموعة تبادلية التلقيح Cross inoculation group (جدول رقم ٢٢).

جدول رقم ٢٢ : للمجموعات النباتية وأنواع البكتيريا المتخصصة في إصابتها.

النباتات التي تشملها المجموعة Cross Inoculation group	نوع البكتيريا	أسم المجموعة
البرسيم الحجاري - الحلبة - النفل - الحندقوق. البرسيم المصري. للبرسيم الأحمر. البرسيم القرمزي البسلة - بسلة الزهور - الحنظل - الفول العادي . الفصوليا.	<i>R. meliloti</i> <i>R. trifolii</i> <i>R. leguminosarum</i> <i>R. phaseoli</i>	أ - مجموعات سريعة النمو Fast growing Genus <i>Rhizobium</i> مجموعة البرسيم الحجازي Alfalfa group مجموعة البرسيم Clover group مجموعة البسلة Pea group مجموعة الفاصوليا Bean group ب - مجموعات بطيئة النمو Slow growing Genus <i>Bradyrhizobium</i>
الترمس فول الصويا لوبيا ، فول سوداني ، فاصوليا ، ليم ، اللبلاب	<i>B. lupini</i> <i>B. japonicum</i> <i>Bradyrhizobium</i> sp.	مجموعة الترمس Lupine group مجموعة فول الصويا Soybean group مجموعة اللوبيا Cowpea group

مراحل تكوين العقدة البكتيرية Stages of nodule formation

تبدأ عملية تكوين العقدة البكتيرية بعد إنبات البذرة مباشرة ، حيث تفرز جذور النبات إفرازات تشجع نمو الميكروبات حوله وتشجع البكتيريا العقدية الموجودة في التربة حول الجذور ، وتتكاثر حولها فإذا كانت من النوع البكتيري المتخصص لهذا النبات فإنها تلتصق بالجذور . ولقد أثبتت الدراسات أن البكتيريا العقدية يوجد علي سطحها نوع من السكريات المعقدة

Polysaccharides متخصصة لنوع النبات البقولي الذي تغزوه. فإذا كانت البكتيريا العقدية من النوع المتخصص للنبات المزروع فإنها تلتصق به بواسطة السكريات المعقدة المتخصصة أما إذا لم تكن من النوع المتخصص للمجموعة النباتية التي يتبعها النبات المزروع ، فإن الالتصاق لا يتم أو يكون ضعيفا وبعد الالتصاق تبدأ عملية الغزو.

وهناك آراء عديدة تفسر الأسباب التي تساعد الميكروب المتخصص علي غزو جذور النبات العائل ومن هذه الآراء:

١. يساعد علي إنحاء الشعيرة الجذرية وغزو طرفها بالبكتيريا المتخصصة ما تفرزه بذور النبات العائل أثناء إنباتها نموها من مواد تسمى "ليكتينات Lectins" وهي عبارة عن مواد بروتينية ذات قابلية متخصصة للإرتباط بالسكريات المعقدة الموجودة علي سطوح البكتيريا العقدية. وفي حالة البكتيريا العقدية فإنه يحدث تجاذب بين السكريات التي علي سطحها وبين الليكتينات المنتشرة علي سطوح جذور النبات البقولي (أو الشعيرة الجذرية) ، وبذلك تلتصق البكتيريا بجذور عائلها المتخصص . وعلي هذا فإن ليكتين البرسيم العادي والمسمى Trifoliin متخصص للإرتباط مع الرايزوبيا *R. trifolii* ولصقها دون غيرها بجذور البرسيم.

٢. يساعد أيضا علي غزو الميكروب المتخصص للعائل ما تفرزه جذور العائل من إنزيم Polygalacturonase ، ويفرز هذا الأنزيم نتيجة لحث البكتيريا المتخصصة المهاجمة بما تحويه من سكريات معقدة في جدارها الخارجي.

٣. يساعد في عملية الغزو أيضا ما تفرزه القمة النامية لطرف الشعيرة الجذرية عند مكان الإصابة من مادة سكرية تسمى كالوز Callose وهي β -1,3 - glucan . وهذه المادة تفرزها جذور النباتات الحديثة للنمو بتأثير (١٦٣)

البكتيريا العقدية المتخصصة بما تفرزه من مادة Indole acetic acid ومادة الكالوز. هذه تختفى من الجذور المسنة والبكتيريا العقدية تمر في النبات بثلاثة أطوار وهي:

١ - **Controlled Parasite** : وهو الطور الأول وهو طور غزو الميكروب للجذور، حيث يبدأ تكوين العقدة مع تكوين الأوراق الأولى للنبات. وهناك اعتقاد بأن الجذور في هذا الوقت تفرز مواداً تعمل على تكاثر البكتيريا المحيطة بها، وبذلك يتكون بالقرب من الشعيرة الجذرية مجموعة كبيرة من بكتيريا العقد الجذرية ، حيث تفرز بدورها مادة منشطة للنمو (مثل مركب أندول حمض الخليك IAA الذي تمثله البكتيريا بالأكسدة من مادة النترتوفان المفروزة من الجذور) ، وهذه تسبب نمو الشعيرة الجذرية والنواثا، فتغزو هذه الميكروبات طرف الشعيرة الجذرية في منطقة الانحناء باعتبارها أضعف نقطة في الشعيرة . ولقد وُجد أنه إذا كان الميكروب من نفس النوع Species الذي يصيب النبات ، فإنه يحدث هذه الانحناء وتتكون العقدة- أما إذا كان من نوع آخر، فإنه يحدث الانحناء فقط و لا يكون العقدة - بمعنى أن الميكروب المختص بإصابة جذور الفول مثلاً يحدث الانحناء والعقدة في نبات الفول فقط، ولكنه يحدث الانحناء فقط في نبات البرسيم . ثم يبدأ في تكوين خيط العدوى Infection thread بعد الإصابة ، وهو مكون من البكتيريا محاطة بأنبوبة مكونة من السليلوز والهيميسليلوز والبكتين ، وهذه الأنبوبة يكونها النبات المصاب.

ويختلف خيط العدوى في السمك باختلاف النبات العائل ، ولكنه يزداد دقه كلما كان الجذر رقيقاً ، ويستمر في النمو مستقيماً وينحني فقط ليتبع انحناء جدار الشعيرة الجذرية. وفي المعتاد يتكون خيط عدوي واحد داخل الشعيرة الجذرية . ويستمر خيط العدوى في مسيرة في الشعيرة الجذرية حتي يصل إلي

خلايا القشرة للجذر فيخترقها ، ثم يتفرع خيط العدوي ويغزو خلايا أخرى ويختفي الخيط وتتجمع خلايا البكتيريا حول أنوية خلايا قشرة الجذر. تنشط الخلايا المصابة وتنقسم حاملة خلايا البكتيريا الجديدة . وتتكون العقدة Nodule من الإنقسام السريع للغزير لخلايا النبات ومن تضخم هذه الخلايا أيضا. كما أن خلايا النبات المجاورة للخلايا المصابة ينتابها كبر في الحجم ونشاط في الإنقسام أيضا. ويعلل إنقسام الخلايا المجاورة المذكورة إلى أن خلايا البكتيريا . أيضا تفرز هرمون Heteroauxin ينتشر إليها فيسبب هذا النشاط ، ويؤيد ذلك أن العقدة وجدت غنية بهذا الهرمون . ويلاحظ أنه إذا ما دخلت إحدى سلالات الرايزوبيا Rhizobia إلى داخل النبات فإنها تمنع دخول السلالات الأخرى.

ولقد وُجد أن الخلايا النباتية الموجودة في وسط العقدة محتوية علي ضعف عدد الكروموسومات (Diploid) الموجودة أصلا بخلايا النبات العادية. ولقد وجدت هذه الظاهرة في خلايا العقد الجذرية للنباتات البقولية سواء الثنائية أو ذات التضاعف الكروموسومي Polyploidy . ويحتمل أن ينشأ هذا النسيج المحتوي علي ضعف عدد الكروموسومات من خلايا ضعيفة موجودة أصلا بالجذر ولكن أجبرت علي الإنقسام كنتيجة لملامستها وإقترابها من خلايا البكتيريا.

وتتكون العقدة عادة من خلايا القشرة بالجذر كما في معظم النباتات مثل البسلة ، البرسيم الحجازي ، والبرسيم والفول . غير أنه في بعض النباتات الأخرى مثل الفول السوداني يصل خيط العدوي مخترقا للقشرة إلى البريسكيل والذي تتكون العقدة من إنقسام خلايا ويتم تكوين العقدة علي الجذر في مدة لا تقل عن ١٥ يوما من بدء الإصابة.

ويلاحظ أن نصف العقدة يوجد به الميكروبات ، أما النصف الآخر فيكون خال منها ويسمي " النصف العقيم " . وشكل الميكروبات في العقدة الحديثة السن عصوي تقريبا ، ولكن في العقدة الناضجة توجد البكتيريا علي هيئة حروف مثل " T,L,Y,X,V " وغيرها ، ويسمي هذا الطور Bacteroids بكتيرويدات وعند صبغها وفحصها ميكروسكوبيا يشاهد أنها لا تصبغ بانتظام إذ يلاحظ وجود مناطق شفافة خالية من الصبغة ثبت أنها عبارة عن Poly β -hydroxy butyrate (PHB) . وتتم عملية تثبيت النيتروجين الجوي في طور البكتيرويدات إذ أن الخلايا البكتيرية في هذا الطور تحتوي علي الإنزيم المثبت للنيتروجين الجوي وهو أنزيم نيتروجيناز Nitrogenase.

٢ - Symbiosis : وهو الطور الثاني ، ويعني " تبادل المنفعة " وهنا بهذا الطور تظهر المعيشة التكافلية أو معيشة تبادل المنفعة Symbiosis حيث تمد البكتيريا النبات بالمواد النيتروجينية المثبتة ، ويمد النبات البكتيريا بالمواد الكربوهيدراتية. وتعتبر البكتيريا داخل الخلايا في طور الـ Bacteroids وتمكث في العقد الجذرية مدة سبعة 7 أسابيع تقريبا.

تحول البكتيريا إلي طور البكتيرويد Bacteroid يكون مصحوبا بتكون مادة شبيهة بالهيموجلوبين بالعقدة تسمى "Leghaemoglobin" والتي تلعب دورا هاما في عملية تثبيت النيتروجين ، وتتحكم جينات النبات في تكوين هذه المادة ، بينما تتحكم جينات الرايزوبيا Rhizobia في تكوين النظام الخاص بتثبيت النيتروجين . وهذه المادة من أنواع الهيموبروتين وتتكون فقط في العقد الجذرية المحتوية علي بكتيرويدات . وتكتسب العقدة الجذرية

النشطة لونا أحمر ورديا Pink بسبب إحتوائها علي هذه الصبغة المحتوية علي الحديد.

ولقد ثبت أن كمية الـ "Leghaemoglobin" في العقدة الجذرية ترتبط ارتباطا موجبا بكمية النيتروجين المثبت ونظرا لسهولة تقدير الهيموجلوبين بطرق ضوئية بقياس Optical density ، فإنه يفضل إستخدام هذه الطريقة علي طرق إستخدام الوزن الطازج للعقد الجذرية كدليل جيد للمقارنة علي تثبيت النيتروجين وذلك عند مقارنة نباتات ذات أعمار متساوية.

ومن المعروف أنه إذا لم تكن الميكروبات متخصصة أي سلالة غير السلالة التي تصيب النبات ، فإن العقدة تمكث من ٧-١٠ أيام ، ولا يتكون في هذه الحالة الـ Leghaemoglobin ، وربما يشاهد نوعي العقد المذكورين علي النبات الواحد ، وتسمى العقد المتكونة عن سلالة غير متخصصة أو غير فعالة Uneffective strain بإسم "العقدة الكاذبة Pseudo nodule - " . و قد تتكون أحيانا عقدا ضعيفة هزيلة و لكنها صادقة ، ويرجع ذلك إلي:

أ. كثرة النترات في التربة: حيث تسبب نموا خضريا كبيرا وبذا نتجه كل الكربوايدرات الناتجة عن التمثيل الضوئي للنبات إلي تكوين هذا النمو الخضري بدلا من أن تصل للبكتيريا لإمدادها بالطاقة اللازمة لها .

ب. عدم وجود إضاءة كافية: حيث يسبب قلة ورود الكربوايدرات إلي العقد الجذرية كنتيجة لضعف التمثيل الكربوني (البناء الضوئي)

ج. عدم وجود كمية كافية من المعادن النادرة مثل البورون والمولبدنيوم .

٣ - Uncontrolled Parasite : وهو الطور الثالث ، فيعد حوالي سبعة أسابيع من تكوين العقدة البكتيرية يتحول الميكروب من معيشة تبادل المنفعة (١٦٧)

إلى متطفل بعد أن نقل المواد الغذائية الواصلة إلى العقدة فيغرز الميكروب الإنزيمات التي تقوم بتحليل البكتين وهي البكتينيز Pectinases لتذيب الصفيحة الوسطى للخلايا البرانشيمية التي يسكن فيها وتتفجر العقدة بعد ذلك ويخرج الميكروب إلى التربة الزراعية مرة أخرى.

وفي تفسير آخر لذلك فـه في وقت الإزهار أو بعدة بقليل تصل درجة تركيز هورمون الـ Auxin إلى قمتها ، وعندئذ تتحلل العقدة ويصبح لونها أخضر أو بني وتختفي البكتيرويدات Bacteroids ثم تتفصل بقايا العقدة بطبقة من الفلين ، وبعدها تتآكل وتحلل.

العلاقة الفسيولوجية بين الرايزوبيا والنبات العائل:

بفرض أن الظروف البيئية المحيطة بالنبات البقولي العائل (المتكافل الكبير Macrosymbiont) والبكتيريا المثبتة للنيتروجين بالنعايش (المتكافل الصغير Microsymbiont) مناسبة ، فإن عملية تثبيت النيتروجين تعاونياً تتوقف علي العلاقة ما بين البكتيريا والعائل من حيث:

أ. الرايزوبيا في طور البكتيرويد تحتوي علي أنزيم النيتروجينيز اللازم لإختزال النتروجين الجوي (N_2) إلى أمونيا (NH_3).

ب. كما تحتوي البكتيرويد علي بعض الإنزيمات الخاصة بالقيام بالخطوات الأولى لتحويل الأمونيا إلى أحماض أمينية كالجلوتاميك Glutamic acid.

ج. ولكي يتم ذلك فإن العائل يمد البكتيريا بما تحتاجه من مصادر كربونية مثل السكريات والأحماض العضوية اللازمة للتمثيل وإنتاج الـ ATP.

د. كما أن الأكسجين يدخل إلي الأنسجة الجذرية بكميات كافية لحفظ خلايا العائل و البكتيرويدات دون أن يثبط نشاط النيتروجينيز وينظم هذه الاحتياجات هيموجلوبين العقدة .

هـ. كما أن نواتج تثبيت الأزوت تنتقل عن طريق الحزم الوعائيه من العقدة إلى مراكز تكوين البروتين في النبات العائل ، وبذلك يمتنع تجمع الأمونيا بالعقدة التي تعتبر مادة مثبطة لإنزيم النيتروجينيز .

ونقوم بكتيرة العقد الجزرية بتثبيت نيتروجين الهواء الجوي ، وهي مهمة للنباتات مند بدء حياتها إلى قرب حصادها ، حيث أنها تمد للنبات بما يحتاجه من نيتروجين فتعطي النباتات بالتالي غلة (محصول) كبيرة بدون تسميد نيتروجيني ، وكذا تمد التربة بكمية كبيرة من النيتروجين. ومن هنا تكون النباتات البقولية غنية بالنيتروجين ، فمثلا يحتوي ١ طن من دريس البرسيم الحجازي علي ١٣٠-١٥٥ كجم بروتين علي حين يحتوي اطن من الحشائش أو تبين أو شعير أو قمح علي ٥٠ - ٦٥ كجم بروتين.

ولقد ثبت أن مقدار ما يثبت من نيتروجين الهواء الجوي بالنسبة لهذه النباتات يختلف باختلاف نوع النبات البقولي، حيث أن محاصيل المراعي مثل البرسيم الحجازي تثبت كمية من النيتروجين تفوق كثيرا ما تثبته محاصيل البذور مثل الفول والبسلة وفول الصويا. وعلي فرض أن البرسيم الحجازي يثبت ١٠٠ وحدة أزوت فيمكن ترتيب بعض المحاصيل البقولية كما يلي: برسيم حجازي ١٠٠ وحدة ، فول الصويا ٤٢ وحدة ، فول بلدي ٢٣ وحدة ، بسلة ١٩ وحدة .

ولقد وجد أن البرسيم الحجازي يثبت تحت أحسن الظروف ما مقداره ١١٥ كجم من النيتروجين للفدان الواحد (٤٢٠٠م^٢) سنويا. ولعل هذا الاختلاف في مقدار ما تثبته المحاصيل البقوليه من الأزوت يرجع إلي اختلاف مدة مكثها في الأرض ، كما قد يرجع إلي اختلاف نظام مجموعها الجذري، فمحاصيل البذور كالقول التي لها نظام جذري محدود والذي تتكون

علية العقد الجذرية خلال فترة قصيرة من الزمن ، تثبتت كميته من الأروت نقل عما تثبتته المحاصيل البقولية التي تبقى في الأرض مدة طويلة والتي لها نظام جذري يتجدد علي مدار موسم النمو والذي تتكون علية عقدا جذرية باستمرار ولفترة طويلة من الزمن.

أما مقدار ما تستفيد التربة من النيتروجين المثبت بواسطة النباتات البقولية فإنه يختلف باختلاف الطريقة التي يعامل بها المحصول عند حصاده، فإذا حرث المحصول البقولي في الأرض كسماد أخضر Green manure، فإن التربة تستفيد من جميع النيتروجين المثبت . أما إذا أكلت الحيوانات المحصول أو حول إلي سيلاج Silage لتغذيتها ثم أضيف السماد الناتج من هذه الحيوانات إلي التربة ، فإن مقدار النيتروجين الذي يضاف إلي التربة في هذه الحالة يتراوح ما بين ٥٠ - ٨٠ % من مجموع النيتروجين المثبت . أما إذا أزيل المحصول بعيدا عن التربة فإن مقدار الاستفادة في هذه الحالة تكون بالقدر الذي يتبقى من هذه المحاصيل بعد حصادها ، بما في ذلك الجذور وما عليها من عقد جذرية . وهنا تختلف الاستفادة من محصول لأخر ، فالبقوليات التي لها مجموع جذري كبير مثل البرسيم ما يتبقى منها بعد الحصاد قد يحتوي علي ما يقرب من ثلث ما تحتويه النبات من أزوت ، وهذه الكمية لا تعوض فقط ما يكون قد أخذه النبات من نيتروجين التربة ، بل تزيد من كميته فيها . أما المحاصيل الأخرى مثل فول الصويا ، البسلة التي تخلع معظم جذورها عند الحصاد ، فإن ما يتبقى من مخلفاتها لا يزيد كثيرا عن سدس (٦/١) مجموع النيتروجين الكلي في النبات ، وهي بذلك قد تسلب الأرض بعض ما قد يوجد بها من النيتروجين .

وعموما فقد ثبت من البحوث العلمية التي أجريت في جمهورية مصر العربية أن تكلفة التلقيح الميكروبي للفدان لا تتجاوز ٥ % من قيمة الأسمدة (١٧٠)

الأزوتية التي تستخدم حالياً ، وذلك بخلاف العائد الاقتصادي الناشئ عن زيادة الإنتاج من التخصيب الميكروبي.

العوامل التي تؤثر على تثبيت النيتروجين الجوي تكافلياً:

يتوقف مقدار النيتروجين الجوي الذي تثبته البكتيريا العقدية بالإشتراك مع النباتات البقولية على عوامل كثيرة بعضها يتعلق بالتربة وبعضها يتعلق بكل من النبات البقولي والبكتيريا العقدية . فمثلاً التهوية في التربة، درجة الحرارة ، نسبة الرطوبة ، الـ pH ، محتوى التربة من الكالسيوم ، المنجنيز ، الفوسفات ، المولبدنوم ، الكوبلت ، ومستوي النيتروجين المعدني (أمونيا ونترات) بالتربة . كلها عوامل هامة جداً . ولا تتوقف كمية ما تثبته النباتات البقولية من النيتروجين الجوي على ما سبق ذكره من عوامل طبيعية وكيميائية فقط، ولكن تتوقف أيضاً على عوامل حيوية تتعلق بكل من النبات والبكتيريا ومقدار إستجابة كل منها للآخر أثناء معيشتها المشتركة ، ويرجع التفاوت في الإستجابة بينهما إلي ما يأتي:

أ - إختلاف سلالة البكتيريا داخل النوع الواحد من الرايزوبيا

Strain variation within a species of rhizobia

فالسلاسل المختلفة لنوع واحد من البكتيريا العقدية تختلف في قدرتها على تثبيت الأزوت الجوي بالإشتراك مع العائل (جدول رقم ٢٣) ، فمثلاً إذا عزلت ١٠٠ مزرعة نقية من البكتيريا التي تصيب البرسيم من عقد جذرية لنباتات مأخوذة من حقول برسيم مختلفة ، فإن هذه السلاسل البكتيرية Bacterial strains تختلف في قدرتها على تثبيت النيتروجين للجوى عندما تدخل في معيشة مشتركة مع صنف واحد من البرسيم فقد وجد أن من بين كل مائة مزرعة يتم عزلها نحو ٢٥ مزرعة لها القدرة العالية على تثبيت (١٧١)

النيتروجين، وتحوي ٥٠ منها متوسطة ، بينما الباقي ليس لها إلا قدره ضعيفه علي تثبيت النيتروجين . ولقد أطلق علي السلالات التي لا تثبت النيتروجين أو تثبتة بكميات ضئيلة بسم "سلالة غير فعالة Ineffective strain" تمييزا لها عن السلالات الفعالة "Effective strains"

وهناك اعتقادا بأن إختلاف السلالات عن بعضها في قدرتها علي تثبيت النيتروجين يرجع إلي السرعة التي تتحلل بها العقد الجذرية فالسلالات غير الفعالة تتحلل عقدها بسرعة عقب تكوينها بخلاف السلالات الفعالة التي تستمر عقدها فترة طويلة تثبت خلالها كمية كبيرة من النيتروجين قبل أن تتحلل. وعلي ذلك فالفرق بين الاثنين هو فرق كمي . فإذا قامت العقد الجذرية بوظيفتها مدة طويلة من الزمن تثبت خلالها كمية كبيرة من النيتروجين أعتبرت العقدة ناتجة من سلالة بكتيرية فعالة، أما إذا تحللت العقدة في فترة قصيرة فأنه ربما عن قدرتها علي تثبيت النيتروجين الجوي خلال فترة حياتها ، فإنها تعتبر ناشئة من سلالة غير فعالة.

ب - تخصص النبات العائل Host Plant specificity

تختلف السلالات البكتيرية لصنف واحد من البكتيريا العقدية في قدرتها علي تثبيت الأزوت في العوائل المختلفة التابعة لنفس المجموعة التبادلية ، فأجدي السلالات قد تعطي قدرة عالية علي التثبيت في أحد العوائل وقدرة أقل علي عائل ثان من نفس المجموعة ، وهذه الظاهرة تلاحظ بكثرة . فمثلا سلالة الميكروب *Rhizobium meliloti* المعزولة من البرسيم الحجازي تستطيع أن تكون عقدا جذرية مع كل من البرسيم الحجازي والنقل والحنقوق والحلبة التي تضمها مجموعة واحده إلا أنه من الثابت أن

البكتيريا التي تعزل من عقد جنور البرسيم الحجازي تكون أقدر علي تثبيت كمية أكبر من الأزوت إذا ما لقت للبرسيم

Table 23 : Strain variation and host plant specificity

Species or strain of sweet clover	N fixed (in mg) per 10 plants with different strains of <i>Rhizobium meliloti</i>		
	Strain 100	Strain 105	Strain 128
<i>Melilotus alba</i> (32 - 19)	186.3	111.0	147.5
<i>Melilotus suaveolens</i>	121.0	11.0	126.0
<i>Melilotus dentata</i> (91-12)	149.0	95.0	131.0
<i>Melilotus dentata</i> (92-27)	131.0	35.8	142.4
<i>Melilotus dentata</i> (96-2)	111.5	142.0	138.2

الحجازي عن بقية النباتات الداخلة معه في نفس المجموعة
 Plant group (Cross inoculation group) (جدول رقم ٢٣) . كما أن
 للبكتيريا التي تعزل من العقد الجذرية لنبات الحلبة القدرة العالية علي تثبيت
 النيتروجين عندما تلقح بها الحلبة عما إذا لقت في البرسيم الحجازي . وقد
 يكون هذا التخصص أبعد مدي، فإن سلالة واحدة من البكتيريا العقدية
 الخاصة بالبرسيم قد تكون أقدر علي تثبيت الأزوت بالإشتراك مع سلالة
 معينة من البرسيم عن سلالة أخرى من نفس النوع كما هو واضح في جدول
 رقم ٢٣ .

ج - عدد البكتيريا العقدية من السلالة الملائمة في التربة

علم وجود العدد الكافي من سلالة قوية معناه نقص في عدد العقد
 المتكونة علي النبات ، وبالتالي نقص معدل تثبيت النيتروجين ، ومن
 الملاحظ أنه بعد تلقيح الأرض بالبكتيريا العقدية فإن أعدادها تتناقص في

التربة بعد فترة وهذا التناقض بافتراض أن التربة خصبة ولا تحتوي علي مولد أو ظروف مانعة لنمو الميكروبات ، يرتبط بعوامل كثيرة ومنها وجود البروتوزوا Protozoa التي تلتهم البكتيريا ، وأيضا وجود البكتيريا من جنس *Bdellovibrio* التي تنطلق علي البكتيريا العقدية . وأيضا وجود البكتيريوفاج الذي ينطلق ويحلل خلايا البكتيريا العقدية . ولقد لوحظ أن إستمرار زراعة أرض معينة بمحصول بقولي واحد لمدة طويلة مثل البرسيم الحجازي أو البرسيم العادي ، فإن المحصول يقل و النباتات تصبح ضعيفة ويطلق علي هذه الظاهره إسم " Alfalfa or clover sickness " . ولقد عزي هذا إلي تأثير البكتيريوفاج علي البكتيريا المتخصصة ، مما يؤثر علي عملية تثبيت النيتروجين .

التلقيح بالبكتيريا العقدية

ثبت أن تلقيح التربة ببكتيريا العقد الجذرية للنباتات البقولية يكون هام جدا ، خصوصا في الأراضي المستصلحة حديثا التي لم تزرع بعد بالنباتات البقولية أو عند إبخال صنف جديد من النباتات البقولية التي لم يسبق زراعتها بعد أو حتي في الأراضي القديمة التي حدث تدهور في محتواها من البكتيريا العقدية . وتوجد عدة طرق لتلقيح النباتات البقولية بواسطة البكتيريا العقدية نذكر منها إستعمال التربة حيث في هذه الطريقة ينقل جزء من التربة من الطبقة السطحية (٥-٢٠سم) من حقل سيق زراعة بنجاح بنفس المحصول البقولي المراد زراعة . وتكفي كمية ٢٠٠كجم تربة لتلقيح فدان (٢٠٠م^٢) واحد علي أن تنتثر هذه الكمية علي سطح الحقل وتخلط جيدا بالتربة قبل زراعة البنور وهذه الطريقة معينة ، لذلك قلما تستعمل الآن . أما الطريقة الثانية فهي استعمال المزارع البكتيرية وفي هذه الطريقة تخلط

البذور قبل زراعتها مباشرة بمزرعة نقية من بكتيريا العقد الجذرية ، وقد تكون هذه المزارع سائلة أو علي أجار أو علي مادة حاملة carrier وهذه الطريقة شائعة الاستعمال.

مقارنة عملية التثبيت النيتروجيني التكافلية واللاتكافلية

رغم أن عملية التثبيت تتم بواسطة أنزيم Nitrogenase بطريقة متشابهة في كلا النوعين من الميكروبات إلا أنه توجد فروقا نوجزها فيما يلي:

١. من حيث طور النمو Growth phase الذي يتم خلاله التثبيت حيث يتم التثبيت في حالة الميكروبات اللاتكافلية مثل الأروتوباكتر *Azotobacter* في الخلايا النامية في الطور اللوغاريتمي الذي يكون متوسط عمر الجيل فيه عدة ساعات حيث يتحول للنيتروجين المثبت إلي بروتين خلوي . أما الخلايا غير النامية فإن للنيتروجين المثبت بها يتجمع في صورة مركبات ذائبة منها NH_4^+ المثبط لعملية التثبيت في حالة الميكروبات التكافلية فإن التثبيت يتم في الخلايا غير النامية ، في الطور الثابت الذي يستمر حوالي شهر .

٢. من حيث كمية النيتروجين المثبت لكل ١ جم خلايا في حالة الأروتوباكتر ، فإنها تثبت حوالي ١ جم نيتروجين / ١ جم خلايا ، وهذا أقل بكثير من تلك الكمية المثبتة في حالة الرايزوبيا *Rhizobia* التي تثبت حوالي ١ - ٢ جم نيتروجين / ١ جم خلايا بكتيرويدات طوال مدة حياتها.

٣. كفاءة عملية التثبيت مقدرة علي أساس ملليجرام نيتروجين مثبت / ١ جم جلوكوز مستهلك حيث تثبت الأروتوباكتر حوالي ١٠ - ٢٠ ملليجرام أما

الـ *Klebsiella* . فتثبت حوالي ٥ ملليجرام والكلوستيريديا *Clostridia* تثبت حوالي ٥ - ١٠ ملليجرام نيتروجين لكل اجم جلوكوز مستهلك . أما في حالة الاريزوبيا مع البسلة فإنها تثبت حوالي ٢٧٠ ملليجرام نيتروجين لكل جرام جلوكوز مستهلك ، وهي كمية اكبر بكثير من المثبت في حالة البكتيريا اللاتكافيه (الحرية ، غير المعاشرة) وهذا الفارق يعود إلي ظاهرتين هما التثبيت في حالة الأزوتوباكتر والخلايا التي تعيش منفردة وحرية يكون في خلايا نامية تستهلك الكثير من الكربون والطاقة لتكون الخلايا الجديدة النامية . أما الثانية فإن خلايا الأزوتوباكتر تحتاج إلي كمية كبيرة من مركبات الكربون في التنفس الهوائي الزائد بها، وذلك لإبعاد الأكسجين عن أنزيم Nitrogenase .

مصير النيتروجين المثبت Fate of fixed nitrogen

خلايا الأزوتوباكتر وباقي الميكروبات المثبتة للنيتروجين في الحالة المنفردة الحرية ، تستعمل الجزء الأكبر من النيتروجين المثبت في تكوين خلاياها النامية، بينما تفرز حوالي ٧ - ١٣% من النيتروجين المثبت خارج خلاياها . وفي الطحالب المثبتة للنيتروجين فإن النسبة تتراوح ما بين ٢٠ - ٤٠% . أما في حالة خلايا الاريزوبيا فإنها تفرز أغلب ما تثبتة من نيتروجين أي أكثر من ٩٠% خارج خلاياها متوجها إلى مراكز تصنيع البروتينات في النباتات.

ثانيا: تثبيت النيتروجين تكافليا في النباتات غير البقولية

Symbiotic nitrogen fixation in non-leguminous plants

أثبتت الدراسات الحديثة أن هناك نباتات غير بقولية يتكون علي جذورها عقداً بكتيرية قادرة علي تثبيت النيتروجين الجوي ، وأن هذه النباتات تتبع ثمانية عائلات نباتية و١٧ جنساً مختلفاً من النباتات مغطاة البذور Angiospermae . ومن هذه النباتات *Alnus glutinosa* وهو من الأشجار الخشبية ونخيل الشمع *Myrica gale* وهو من الأشجار التي تحسن من خصوبة التربة والهيبوفيا *Hippophae* وهو مثبت للكتبان الرملية والكازورينا *Casuarina* وهي أشجار تستعمل كمصدات للرياح وغيرها من الأشجار . وبالإضافة للنباتات مغطاة البذور Angiospermae فإن هناك بعض النباتات معراة البذور Gymnospermae تكون عقداً بكتيرية قادرة علي تثبيت النيتروجين ومن أمثلة هذه النباتات أجناس *Macrozamia* ، *Zamia* ، *Cycas* كما هو موضح في جدول رقم ٢٤ . والميكروب المسبب للعقد في هذه الأحوال عبارة عن طحالب خضراء مزرقة (سيانوبكتيريا).

ومعظم تلك النباتات سواء مغطاة أو معراة البذور عبارة عن أشجار خشبية معمرة منتشرة في أماكن كثيرة من العالم في أراضي فقيرة في الأزوت . وكل هذه الأشجار إذا نمت في وسط فقير في الأزوت فإن نموها يكون ضعيفاً ، أما إذا تم تلقيح الوسط الذي تنمو فيه بمطحون العقد الجذرية لنباتات من نفس النوع، فإن النمو يتحسن وتختفي أعراض نقص النيتروجين. والعقد الجذرية في بعض هذه للنباتات مثل *Alnus glutinosa* قد يصل حجمها إلي حجم كرة التنس أي من ٥ - ٦ سم قطراً وكمية النيتروجين

المتنبئة تختلف حسب النبات وظروف التربية ، فهي تتراوح بين ١٢- ٦٠٠ كجم/هكتار في حالة هذا النبات سنوياً ، ٥٨ كجم/هكتار (١٠,٠٠٠ م^٢) / السنة في حالة نبات الكازورينا . وفي الجدول رقم ١٦ نقسما لتلك النباتات غير البقولية من حيث الميكروبات المكونة للعقد الجذرية عليها في ثلاثه مجموعات I, II, III .

Table 24 : Non-leguminous root nodulated plants

Endophyte	Symbiotic Plant	Habitat
I: <i>Rhizobium</i>	A : <i>Angiospermae</i> <i>Trema</i> , <i>Zygophyllum</i>	tropical -subtropical plants
II: <i>Frankia</i>	<i>Alnus</i> <i>Coriaria</i> <i>Hippophue</i> <i>Casuarina</i> <i>Myrica</i>	temperate temperate temperate tropical cosmopolitan
III: Blue green algae	B: <i>Gymnospermae</i> <i>Cycas</i> <i>Zamia</i> <i>Macrozamia</i>	tropical – subtropical tropical – subtropical tropical - subtropical

I. بالنسبة لنباتات المجموعة الأولى "I" والتي يمثلها نبات *Terma* *cannabina* فإن المسبب للعقد الجذرية هو بكتيريا من مجموعة الرايزوبيا Cowpea type وتتكون العقدة في منطقة القشرة Cortex بالجذر المصاب مشابه في ذلك الحالة تكون العقد الجذرية في النباتات المصابة بجنس *Frankia* . وبالإضافة إلي نباتات الـ *Trema* فقد وجدت عقدا جذرية من الرايزوبيا المتنبئة للأزوت الجوي في بعض شجيرات صحراوية تتبع عائلة

Zygophyllaceae مثل نباتات *Zygophyllum* , *Tribulus* , *Fagonia* نامية في أراضي رملية فقيرة وفي مناطق جافة .

II. بالنسبة لنباتات المجموعة الثانية "II" مثل أشجار الناص ، نخيل الشمع ، الكازورينا ، والهيوفيا فإن الميكروبات المثبتة للأزوت بالعقد الجذرية تتبع لجنس *Frankia* عائلته *Frankiaceae* ، من رتبة *Actinomycetales*.

III. أما نباتات المجموعة الثالثة "III" فإن أكثر من ٩٠ نوعا كلها تتبع *Cycadaceae* مثل أشجار السيكاس وهي أشجار خشبية معمرة وجد أن جذورها تحتوي علي خيوط من الطحالب الخضراء المزرقمة المثبتة للنيتروجين الجوي مثل أفراد جنس *Nostoc* , *Anabaena* موجودة داخل خلايا العائل في منطقة القشرة الخارجية للجذر *Outer cortex* . وفي حالة نبات السيكاس بالذات فإن الطحلب *Anabaena cycadeae* يوجد في منطقة مميزة بين القشرة الخارجية والداخلية للجذر . وأغلب هذه النباتات المثبتة للأزوت في المجاميع الثلاثة السابقة (I, II, III) يمكن أن تعيش تعاونيا مع فطريات الميكوريزا ، وبذلك فإنها تستطيع أن تنمو أيضا في تربة فقيرة في الفوسفات ، وهي بدورها تغني التربة وما يجاورها من نباتات بالأزوت المثبت.

الأزولا *Azolla*

هو جنس من السرخسيات المائية *Water ferns* تقوم بعلاقة تعاون وثيقة مع الطحالب الخضراء المزرقمة من جنس *Anabaena* تعرف هذه المعيشة باسم *Azolla - Anabaena symbiosis* . من حيث تبادل نواتج التمثيل الغذائي من كربوهيدرات ونيتروجين ، فكل من النبات السرخس والطحلب يكونان وحدة واحدة . ويتم تثبيت النيتروجين خلال المعيشة (١٧٩)

التكافية . ولم تتجح حتي الآن زراعة الطحلب بمفرده بعيدا عن عائلة ، غير أنه يمكن زراعة العائل بدون الطحلب إذا ما توفر له النيتروجين فالسرخس هو العائل والطحلب هو الـ Endophyte Symbiont . ومن الوجهة النباتية ، فإن جنس *Azolla* يتبع Family Azollaceae من Order Salviniaceae . والعائلة Azollaceae تكون جرثيم من طراز Heterospores free floating و جنس *Azolla* يقسم حسب طريقة التكاثر إلي ستة أنواع Species وهي : *A. caroliniana*, *A. microphylla*, *A. filiculoides*, *A. pinnata*, *A. mexicana*, *A. nilotica*

والأزولا نبات واسع الانتشار ، فهو يوجد في البحيرات ، جداول المياه ، وفي الحقول المغمورة بالمياه Paddy soils في كل جهات العالم خاصة في المناطق الاستوائية التي يتكاثر فيها وبسرعة ويكون عائما علي سطح البحيرات والمستنقعات فهو من النباتات المائية الطافية المكونة من ريزوم متفرع بالتبادل ، ذو أوراق مفصصة تقصيص ثنائي رأسي Overlapped bilobed leaves . وللسرخس جذور رقيقة تتكلى في الماء إلي عمق يصل إلي ٢ سم في الأنواع الصغيرة أو تصل إلي ١٠ سم في الأنواع الكبيرة.

ويمكن تنمية الأزولا *Azolla* بنجاح في مشاتل مائية بتوفير الظروف المناسبة و إستعمالها كلقاح في الأراضي المنزرعة أرزا حيث يقوم المتعايش الداخلي Endophyte symbiont وهو الطحلب يقوم بتثبيت النيتروجين والذي تستفيد منه نباتات الأرز وبذلك يوفر من عمليات التسميد الأزوتي . ومن العوامل المحددة لإنتشار الأزولا نسبة الملوحة بالوسط النامية فيه فنمو الأزولا يقل تدرجيا كلما زادت نسبة الملوحة ، فإذا وصلت النسبة إلي ١,٣ % فإن للنمو يقف ، وإذا ما زادت النسبة عن ذلك ، فإن النبات يموت .

والطحلب الأخضر المزرق *Anabaena azollae* (Phycobiont) الذي يوجد داخل نبات الأزولا هو سلالة متخصصة لهذا النبات وهو يتبع للـ :

Class: , order: Nostocales , Family Nostocaceae
.cyanophceae

ويعيش الطحلب بداخل نبات الأزولا في شكل خيوط لزجة تملأ فجوات خاصه توجد علي سطح الفص العلوي لورقة الأزولا . وخط الطحلب يتكون من خلايا برميلية الشكل ، وقطرها حوالي 5μ وطولها حوالي $8-10\mu$ ، ويمكن تمييز ثلاثة أنواع من الخلايا علي الطحلب كما يلي:-

١. خلايا خضرية وهي مراكز التمثيل الضوئي وتمثل حوالي ٦٠% من الخيط الطحلي .

٢. خلايا Heterocyst وهي مراكز تثبيت الأزوت وتمثل حوالي ٣٠% من الخيط الطحلي .

٣. خلايا Akinetes وهي خلايا ذات جدر سميكة تمثل مرحلة الجراثيم الساكنة بالطحلب Rsting spores وتتكون من الخلايا الخضرية وتمثل حوالي ١٠% من الخيط الطحلي .

وينتشر الطحلب بهذه الجراثيم أو بواسطة خيوط قصيرة تسمى "هورموجونات Hormogonia" تثبت من جراثيم Akinetes .

ويمتاز الطحلب وهو داخل النبات عن الطحلب المشابة الموجود في الحالة الحرة بارتفاع نسبة محتواة من خلايا الهتروسيست Heterocysts والتي تصل نسبتها إلي حوالي ٣٠ - ٤٠% وبالتالي ارتفاع معدل كفاءته في تثبيت النيتروجين بشكل ملحوظ . وبذلك فإن هذا الطحلب المتخصص يعتبر

نو كفاءة عالية في عمليات التثبيت النيتروجيني التي وجد أنها تصل في المتوسط إلى ٢٥٠ كجم نيتروجين للفدان (٢٤٢٠٠م) خلال أربعة شهور في موسم الأرز ، وهي كمية تعادل ١/٢ طن يوريا أو ١,٢٥ طن من سماد سلفات النشادر . غير أنه في اللظام ، فإن معدل التثبيت يقل حوالي ٧٠% عما يثبت في الضوء.

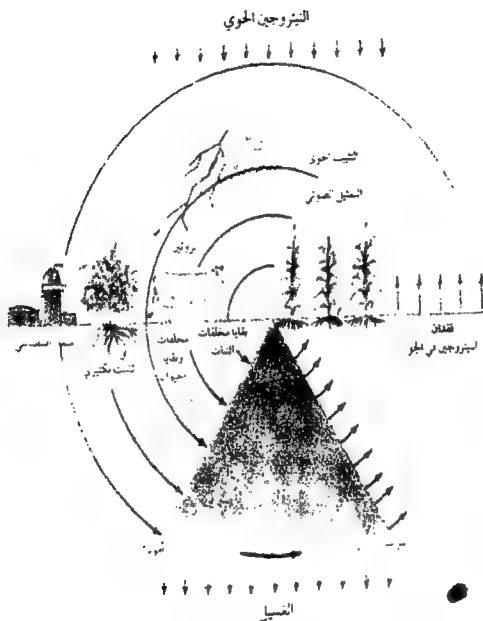
وفوائد استعمال الأزولا في الأراضي المنزرعة أرزا معروفة منذ قرون طويلة في مناطق شرق وجنوب آسيا مثل اليابان والصين والفلبين وفيتنام كسماد أخضر وكمصدر لزوتي حيث أنه بتلقيح الأراضي المغورة بالماء المنزرعة أرزا ، بالأزولا فإن ذلك السرخس ينمو بسرعة مكونا طبقة نمو كثيفة علي سطح الماء وتثبت في أجسامها كميات كبيرة من النيتروجين ، وعند تخفيف الأرز تجف تلك الطبقة من الأزولا Azolla وتموت وتتحلل وتغذي التربة بمخلفاتها الكربونية والأزوتية فتحسن من خواصها وتزيد من إنتاجيتها.

ونظرا لأن نباتات الأزولا غنية في البروتين والمعادن ، فإنه علاوة علي إستخدامها كسماد عضوي بحقول الأرز ، فإنها تستعمل أيضا كغذاء للحيوانات والطيور وفي عمل السماد العضوي الصناعي Compost بالمزارع.

ولقد ثبت أنه في غياب النيتروجين المرتبط ، فإن الطحلب يقوم بإمداد الأزولا بإحتياجاتها للنيتروجينه، ويتم ذلك أساسا علي صورة أمونيا مع قليل من الأحماض الأمينية . وعند إدخال الأزولا في دورة زراعية مع الأرز ، فإنه يراعي أن فدان الأزولا يحتاج إلي حوالي ٣٠٠ كجم P_2O_4 ، وأن زراعته حوالي ٣ كجم أزولا في شهر نوفمبر تعطي حوالي ٢,٥ طن خلايا

رطوبة/فدان في شهر فبراير علي أن ينظم موعد جمع الأزولا حتي لا يتعارض مع موعد بذر وشتل الأرز.

وتستطيع الأزولا أن تتضاعف مره كل ٣ - ٥ أيام وتعطي محصولا يتراوح بين ٣ - ١٠ طن/ فدان بها من ٥ - ٥٠ كجم أزوت . ويحتوي النبات الرطب علي حوالي ٩٤% ماء ، ٤% أزوت . أما النبات الجاف فيحتوي علي حوالي ٦٠% كربوهيدرات ، ٢٥% بروتين ، ٢٠% رماد ونسبه ك : ن (C / N) تتراوح من ١٠:١ إلى ٢٠:١ ، ويحلل في تركيبة أيضا السليلوز واللجين والألياف . وتتحلل الأزولا في الأراضي الغدقة بعد ٨ - ١٠ أيام من إضافتها للتربة ويستفيد منها الأرز النامي بالأرض إستفادة ملحوظة بعد ٢٠ - ٣٠ يوم . وينساب ثلثي أزوت الأزولا بعد ٦ - ٨ أسابيع من نموها بالأراضي الغدقة . والأزولا لا تتحمل الملوحة المرتفعة ، ومن عوامل نجاح زراعتها العمل علي وقايتها من الأفات الفطرية والحشرية . ويبين شكل رقم ١٩ التحولات الميكروبيولوجية للمركبات النيتروجينية في التربة للزراعية.



شكل رقم ١٩ : التحولات الميكروبيولوجية للمركبات النيتروجينية في التربة الزراعية.

الفصل السادس :

التحولات الميكروبية للمركبات الكبريتية
في التربة الزراعية

**Microbial Transformations
of Sulfur Compounds in soil**

الفصل السادس

التحولات الميكروبية للمركبات الكبريتية في التربة الزراعية

Microbial Transformations of Sulfur Compounds in soil

مقدمة :

يعتبر الكبريت من أهم العناصر الغذائية الضرورية للنبات . ويقدر محتوى قشرة الأرض من هذا العنصر بحوالى ٠,٠٦% ويوجد الكبريت على صورة عضوية وغير عضوية . ويعد الكبريت العضوى هو المخزن الرئيسى لكبريت التربة . يوجد الكبريت العضوى في التربة على صورتين هما الكبريت المرتبط بالكربون والكبريت غير المرتبط بالكربون . ويوجد الكبريت غير العضوى أى المعدنى في التربة على شكل كبريتات تترسب في صورة أملاح ذائبة أو غير ذائبة مثل كبريتات الكالسيوم . وكبريتات المغنسيوم وكبريتات الصوديوم .

مصادر الكبريت في التربة : Sulfur sources in soil

معادن الصخور المتحجرة في باطن الأرض عند تعرضها لعمليات التجوية الكيماوية والفيزيائية فإن هذه المعادن تتحلل وتحرر الكبريتيد الذى يتأكسد بدوره ويتحول إلى كبريتات . وكذلك الكبريت الجوى عندما يحرق الكبريت والفحم ومركبات أخرى تحتوى على الكبريت في المعامل يتطاير ثانى أكسيد الكبريت إلى الجو والذى يرجع بدوره إلى التربة مع مياه الأمطار . وقد يكون الكبريت المتحد بالمادة العضوية حيث يوجد في التربة الرطبة كمية كبيرة من الكبريت مرتبطة بمادة للتربة العضوية وكذلك يوجد

الكبريت في بقايا النباتات على شكل بروتينات كبريتية ويحلل هذه المواد يتحرر الكبريت ويتأكسد إلى كبريتات .

وتعتبر الأسمدة الكيماوية المحتوية على الكبريت مثل السوبر فوسفات التي تضاف إلى التربة بأشكال معدنية مختلفة هي المصدر الآخر لكبريت التربة . كذلك يمكن إعتبار الكبريت المنقول بواسطة مياه الري بشكل كبريتات مصدراً للكبريت أيضاً . هذا علاوة على الكبريت الذي يضاف إلى التربة الزراعية كمخصب خاصة الأراضي القلوية مثل الجبس الزراعي . كذلك بقايا النباتات خاصة التابعة للعائلة الصليبية Crucifers حيث تحتوى على نسبة عالية من الكبريت . ووجد أيضاً أن المخلفات الحيوانية تلعب دوراً في إمداد التربة بعنصر الكبريت حيث تمثل مصاد عضوى جيد للتربة .

تمتص النباتات الرقيقة تمتص الكبريت في صورة أيون كبريتات SO_4^{--} وبعد عملية الإمتصاص تختزل الكبريتات داخل النبات إلى كبريت عضوى . كثيراً من عوامل النمو تؤثر في محتوى النبات من الكبريت وللكبريت دور كبير في الوظائف والعمليات الحيوية للنبات ونقص هذا العنصر يؤدي إلى عرقلة العديد من هذه العمليات مما يؤثر سلبياً في نمو النبات . ومن أهم الوظائف الحيوية التي يقوم بها الكبريت هي مساهمته في تكوين بروتينات النبات إذ أنه يختزل داخل النبات لتكوين الأحماض الأمينية مثل Cystine ، Cysteine ، وMethionine التي تعد ك لبنات Precursors في بناء البروتين . يشارك في تكوين روابط من الكبريتيد الثنائي $SH=SH$ مجاميع السلفاهيدريل في البروتينات أو الببتيدات المتعددة . وهذه الروابط تشارك في تكوين الإنزيمات. يعتبر الكبريت أحد أجزاء

الإنزيمات المساعدة (COA) والفيتامينات Biotin وThiamine علاوة على أنه يساعد في تثبيت النيتروجين عن طريق النباتات البقولية إذ يدخل في تركيب إنزيم Nitrogenase . ونظراً لأهمية الكبريت كعنصر متحرك داخل النبات فإن نقصه يؤدي إلى ظهور أعراض النقص أولاً على الأوراق والأجزاء القديمة للنبات . والنباتات التي تعاني من نقص الكبريت يقل معدل نموها ، وتكون النباتات صلبة وقابلة للكسر وتبقى سيقان النباتات ضعيفة . ثم يتغير لون الورقة من الأخضر الفاتح وفي أكثر الأحيان يتبع ذلك إصفرار داكن وبعدها إصفرار شامل على النبات .

وعادة يوجد الكبريت في المولد العضوية على صورة مجاميع سلفهيدريل Sulphydryl group (-SH) ، ومن أمثلة ذلك وجوده في بعض الأحماض الأمينية مثل Methionine ، cysteine ، cystine وكذلك في بعض المركبات الأخرى مثل الجلوتاثيون والثيوبيوريا كما يدخل في تركيب بعض الفيتامينات مثل الثيامين والبيوتين .

أما صور الكبريت غير العضوية فهي مختلفة وأهمها الكبريتات ، الكبريتيت، ثيوكبريتات ، نتراتيونات ، كبريتيد الأيدروجين والكبريت . المعروف أن النباتات النامية تأخذ إحتياجاتها من الكبريت في صورة كبريتات SO_4^- . وتتعرض مركبات الكبريت في التربة للزراعية لعديد من التغيرات تتضمن معننة الكبريت العضوى Organic sulfur mineralization ، تمثيل مركبات الكبريت المعدنية في أجسام الميكروبات Inorganic sulfur immobilization . حيث تتحول المركبات البسيطة إلى مركبات مرتبطة داخل خلايا الكائنات الحية الدقيقة في التربة الزراعية .

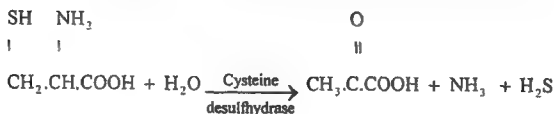
علاوة على أكسدة مركبات الكبريت المعدنية Oxidation of inorganic sulfur compounds وأخيراً اختزال الكبريتات Sulfur reduction .

وسيادة أى نوع من هذه التفاعلات أو التحولات تتحكم فيه العوامل البيئية السادة مثل نوع التربة ومحتواها من المادة العضوية ، وحالة التهوية ، ودرجة الحرارة وغيرها من العوامل . وتتشابه للتغيرات البيولوجية في دورتي الكبريت والنيتروجين في الطبيعة لحد كبير فالعنصران يدخلان في تركيب البروتين وينحلان أيضاً في تركيب المادة العضوية في التربة في الصورة المختزلة . ولابد من حدوث معدنة لهذان العنصران حتى يصبحا في صورة ميسرة Available للنبات . كما أن أكسدة مركبات الكبريت المعدنية تشبه لحد كبير عملية التناز Nitrification في دورة النيتروجين ، كما أن الظروف الملائمة لإختزال النترات NO_3^- هي نفسها الظروف الملائمة لإختزال الكبريتات SO_4^{2-} . ومما يذكر أن تحلل المادة العضوية بيولوجياً في الأراضى والمياه ينتج عنه حوالى $10^9 - 10^{10}$ كيلو جرام كبريت سنوياً .

أولاً : معدنة الكبريت العضوى Organic sulfur mineralization

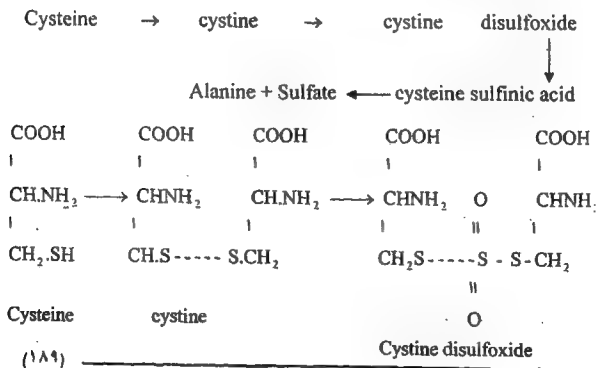
من المعروف أن أهم صور الكبريت التي تمتصها النباتات هي الكبريتات SO_4^{2-} . ويوجد الكبريت في المادة العضوية خصوصاً بالأحماض الأمينية الداخلة في تركيب البروتين في صورة مجاميع سلفهيدريل (-SH) Sulfhydryl group ، ولابد أن تحدث معدنة لمركبات الكبريت العضوية حتي يمكن أن يتحول إلي الصورة الملائمة للنبات . وعملية معدنة الكبريت تشبه عملية للتشدرة Ammonification في دورة النيتروجين لحد كبير ، ولذلك فإن البروتين المحتوي علي الأحماض الأمينية الكبريتية لابد أن يتحلل بواسطة الميكروبات المحللة للبروتينات حيث يحدث تكسير للسلاسل البيبتيدية

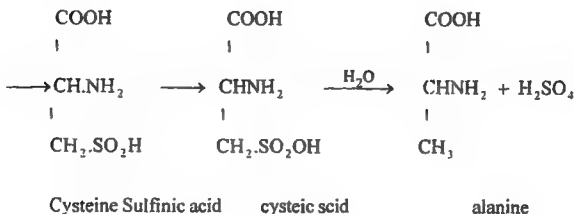
إلى جزيئات أصغر فأصغر حتي تتكون الأحماض الأمينية . ثم بعد ذلك فإن الأحماض الأمينية المحتوية علي كبريت مثل Methionin ، Cysteine ، Cystine يحدث لها تحلل حيث يتم خلاله نزع مجاميع السلفهيدريل وينتج عن ذلك غاز H_2S وبذلك يتم معننة الكبريت العضوي كما يلي :



Cysteine

وهناك دراسات تثبت أنه ليس من الضروري أن تتم عملية المعننة Mineralization من خلال إنتاج H_2S - ولكن قد تحدث تحولات في الأراضي جيدة التهوية يكون من نتائجها تكوين الكبريتات SO_4^{2-} دون المرور بالـ Sulfide كما يلي:





يتوقف حدوث المعدنة على نسبة الكبريت في المادة العضوية أو بمعنى أصح على نسبة الكربون : الكبريت (C/S ratio) في المادة العضوية، فإذا كانت المادة للعضوية ذات C/S ratio واسعة أى أنها فقيرة في نسبة الكبريت فإن الميكروبات تأخذ ما بها من كبريت لبناء أجسامها ، وإن لم يكفها فقد تلجأ للكبريتات الذائبة في التربة ، أما إذا كانت C/S ratio ضيقة ، أى أن المادة العضوية غنية بالكبريت فإن الميكروبات تأخذ منها ما يكفيها والباقي تحدث له معدنة وينفرد غالباً على صورة H_2S . ولقد أثبتت التجارب باستخدام عدداً من المخلفات النباتية أضيف للتربة لمعرفة أثرها على معدنة الكبريت ، أن نسبة C/S لهذه المواد تراوحت ما بين ٢٠٠ : ١ - ٤٢٠ : ١ حيث أنه عندما تكون النسبة أقل من ٢٠٠ : ١ تنشط عملية المعدنة Mineralization وعندما تزيد النسبة عن ٤٢٠ : ١ يكون النشاط في اتجاه التمثيل Immobilization حيث تأخذ الميكروبات خلال تحليلها للمواد العضوية المحتوية على كبريت جزء من كبريت المادة العضوية لبناء أجسامها والباقي تحدث له عملية معدنة . وعلى أية حال فإن المخصبات الخضراء Green manures تحل في التربة بسرعة وترفع من مستوى

الكبريت الميسر للنبات خاصة إذا كان مصدرها نباتات صليبية Crucifers أو بقولية Legumes . هذا وهناك صورا أخرى للكبريت العضوى حيث يوجد بالتربة يجب ذكرها وهى

Sulfate esters and ethers in the form of phenolic sulfates, sulfated polysaccharides, choline sulfate and sulfated lipids.

ثانياً : تمثيل الكبريت غير العضوى في أجسام الميكروبات

Inorganic sulfur immobilization

تستطيع الميكروبات إستخدام عدداً من صور الكبريت العضوى والمعدنى لبناء أجسامها وذلك من المواد غير العضوية مثل الكبريتات ، والثيوكبريتات ، والكبريتيدات ، الثيوسيانات ، أما المركبات العضوية فهى كالأحماض الأمينية مثل السيستين والمستين والمثيونين والبروتينات غير المتحللة وغيرها . وتختلف الصور المستخدمة حسب الميكروب ، وتحتوى الميكروبات على كبريت بنسبة تتراوح من ٠,١ - ١,٠ % بأجسامها ، وبالطبع تأخذ الميكروبات إحتياجاتها من هذا العنصر من التربة . ولئر عملية تمثيل الكبريت في أجسام الميكروبات على المحاصيل النامية في الأراضى يكون قليلا بالمقارنة مع ما يحدث في حالة النيتروجين ، وذلك لأن كمية الكبريت في أجسام الميكروبات أقل كثيراً من نسبة النيتروجين التى تتراوح من ٥ - ١٠ % حسب ما إذا كانت بكتيريا ، فطر أو أكتينوميستات حيث تكون نسبة الكربون في حدود ٥٠% في المتوسط ولكن مع ذلك فقد تحدث حالات نقص للكبريتات اللازمة لتغذية النبات في حالة إضافة مادة عضوية كربوهيدراتية سهلة التحلل، فقيرة أو خالية من الكبريت مثل السليلوز . وهذا يؤدى إلى نقص في مستوى الكبريتات نتيجة تمثيل الميكروبات للكبريت غير

العضوى أثناء نموها على حساب السكر العديد وفى هذه الحالة فإن النباتات النامية فى التربة سوف تعاني من نقص للكبريت .

ثالثاً : أكسدة مركبات الكبريت غير العضوية

Oxidation of inorganic sulfur compounds

تقوم مجموعة من البكتيريا الأوتوتروفية Outotrophs بأكسدة الكبريت أو كبريتور الأيدروجين إلى كبريتات وأيون الأيدروجين . وتعتبر هذه العملية مفيدة لخصوبة التربة الزراعية حيث يتحول فيها الكبريت إلى صورة صالحة لتغذية النباتات . ويمكن تقسيم البكتيريا المؤكسدة للكبريت إلى:

١- بكتيريا كيموأتوتروفية Chemoautotrophic bacteria

وهي بكتيريا هوائية تحصل على طاقتها من أكسدة مركبات الكبريت المعدنية ، وهذه لا تكون صبغات لدخل خلاياها وتشمل المجموعات الآتية :

(أ) بكتيريا كيموليثوتروفية حتمية وهذه تشمل الأجناس الآتية :

Thiobacillus, *Thiobacterium*, *thiovulum*, *Thiospira*,
Macromonas, *Sulfolobus*

وأهم هذه الأجناس نشاطاً في أكسدة مركبات الكبريت غير العضوية هو جنس *Thiobacillus* وأهم صفاته المورفولوجية أن خلاياه عبارة عن عصويات ١-٣ × ٠,٥ ميكرون ، غير متجرت ، سالب لجرام ، يتحرك بواسطة فلاجيلا طرفية . ويشمل هذا الجنس تسعة أنواع منها خمسة على درجة كبيرة من الأهمية في أكسدة مركبات الكبريت المعدنية وهي بكتيريا *Thiobacillus ferrooxidans* الذى يتميز بقدرته على استخدام أملاح

الحديدوز أو أملاح الكبريت مصدر للطاقة وكذلك بكتيريا *Thiobacillus thiooxidans* .

ويتميز هذين النوعين بتحملها الشديد للحموضة ، حيث تعتبر درجة الحموضة المثلى لهما هي ٢ - ٣,٥ . وكذلك أنواع *Thiobacillus novellus* ، *Thiobacillus thioparus* ، *Thiobacillus denitrificans* ، وتتميز الثلاثة أنواع الأخيرة بنموها على درجات pH متعادلة أو حتى مائلة قليلاً للقلوية .

وتتمو أنواع البكتيريا السابق ذكرها تحت الظروف الهوائية ، فيما عدا الميكروب *Thiobacillus denitrificans* فهو يستخدم النترات كمستقبل للإلكترونات تحت الظروف اللاهوائية حيث يقوم بتحويل النترات إلى مركبات نيتروجينية غازية ويؤكسد في نفس الوقت الثيوكبريتات أو بعض المركبات الكبريتية الأخرى .

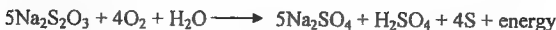
وكما سبق أن أشرنا فإن جميع الأنواع السابقة تعتبر كيموأوتوتروفية حتماً تحصل على الكربون من CO_2 الجوى ولا تستطيع تحليل مركبات الكربون العضوية فيما عدا *T. novellus* حيث أن له القدرة على أكسدة مركبات الكربون العضوية للحصول منها على الطاقة .

ويتميز جنس *Thiobacillus* بأنه لا يرسب حبيبات الكبريت داخل خلاياه وتقوم الأنواع التابعة لهذا الجنس بأكسدة مركبات الكبريت غير العضوية مثل الكبريت المعدنى ، الثيوكبريتات ، نتراتيونات .

T. thiooxidans & *T. novellus*



T. thioparus

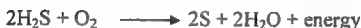


T. denitrificans



(ب) جنس *Beggiatoa*

يتبع عائلة *Beggiatoaceae* من رتبة *Cytophagales* في "The Gliding Bacteria". الميكروب يتجمع خيطي الشكل ويوجد في شكل *Trichome* ، ويترسب الكبريت داخل الخلايا ثم يختفى بالأكسدة إلى SO_4^- حيث يقوم الميكروب بأكسدة مركبات الكبريت كما يلي :



(جـ) جنس *Thiothrix*

يتبع لعائلة *Leucotrichaceae* من ذات الرتبة السابقة وهو يشبه لحد كبير ميكروبات *Beggiatoa* من حيث التجمع في شكل خيطي والترسيب لحبيبات الكبريت داخل الخلايا ولكنه يتميز عنه في أنه يكون شكل خيطي متفرع يشبه الوردة من عديدات الخلايا وحيث تنقسم الخلايا الطرفية لخيوط مكونة وحدات تكاثرية تعرف باسم "Gonidia" وهي وسيلة إنتشاره في الطبيعة .

٢- بكتيريا ممثلة للضوء Photosynthetic bacteria

وتتميز هذه المجموعة بأنها لا هوائية وتحصل على الطاقة من الضوء Phototrophic وتحتوى على صبغات دخل خلاياها ولذلك فهي ملونة لوجود خليط من صبغات الكلوڤيل البكتيرى والكاروتينات التى تتراوح ألوانها من الأرجوانى ، البنفسجى ، الأحمر ، البنى ، البرتقالى ، والأخضر . ويمكن للبعض تخزين حبيبات الكبريت داخل الخلايا والبعض الآخر يرسبه خارج الخلايا ، في حين أن هناك بكتيريا ممثلة للضوء وغير كبريتية أى أنها لا تستطيع استخدام مركبات الكبريت إطلاقاً .

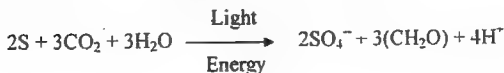
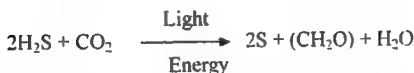
ولقد وضعت جميع البكتيريا الممثلة للضوء في مجموعة واحدة وهي Anoxygenic phototrophic bacteria التى تشمل رتبة Rhodospirillales والتى تشمل بدورها على بكتيريا إرجوانية غير كبريتية Purple non-sulfur bacteria (Rhodospirillaceae) ، بكتيريا أرجوانية كبريتية Purple sulphur bacteria (Chromatiaceae) ، بكتيريا خضراء كبريتية green sulfur bacteria (Chlorobiaceae) وبكتيريا خضراء غير كبريتية Green non-sulfur bacteria (Chloroflexaceae) .

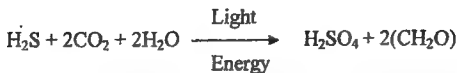
وتستطيع أفراد الـ Chromatiaceae النمو في وجود الكبريتيدات أو الكبريت كمعطى وحيد للإلكترون ، ولها القدرة على تكوين حبيبات كبريت عنصري خارج أو داخل الخلايا إذا أمدت بالكبريتيدات . كما يمكنها علاوة على ذلك أكسدة الكبريت المتراكم من الخطوة السابقة إلى كبريتات . معظم الأفراد لا هوائية حتماً ، وتضم عدة أجناس لها القدرة على تخزين حبيبات الكبريت الناتج من أكسدة الكبريتيد داخل خلاياها باستثناء جنس واحد هو *Ectothiorhodospira* والذي يرسب حبيبات الكبريت العنصري خارج

خلاياه . وبصفة عامة فإن الكبريتات تعتبر الناتج النهائي لأكسدة مركبات الكبريت بقصد الحصول على الطاقة وبناء الخلايا الجديدة . وتتواجد هذه البكتيريا في المناطق المائية مثل المصارف والمستنقعات والبرك خاصة المحتوية منها على تركيزات عالية من الكبريتيد وكذلك في الأراضي التي تحتوي على طين أسود ، والجنس المثالي هو *Chromatium* .

أما أفراد عائلة Chlorobiaceae فتستطيع ترسيب حبيبات الكبريت العنصري خارج خلاياها عند إنمائها في وسط يحوى على الكبريتيد ولكنها لا تستطيع تخزين الكبريت داخل خلاياها . باستثناء جنس واحد هو *Clathrochloris* . جميعها لا هوائية حتماً ، يمكن للبعض منها أن تستخدم الإيدروجين الجزيئي كمطى للإلكترون بشرط وجود الكبريتيد وبذلك فهي تقوم بدور عظيم في أكسدة الكبريت المختزل (H_2S) إلى حمض كبريتيك أثناء حصولها على الطاقة . ونتيجة للأكسدة يتكون أيون الأيدروجين ، وعلى ذلك فإضافة للكبريت تعتبر من الطرق الناجحة في إصلاح الأراضي القلوية. وتحتوى العائلة على خمسة أجناس ، المثالي منهم هو *Chlorobium* .

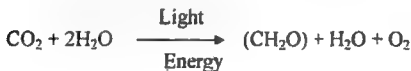
ويمكن توضيح المعادلات الكيماوية التي تلخص عمل هاتين العائلتين الكبريتيتين فيما يلي :



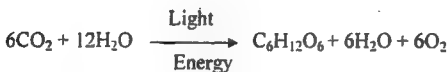


وتختلف عملية التمثيل الضوئي التي تقوم بها أفراد Order Rhodospirillales عن تلك التي تقوم بها الطحالب والنباتات الخضراء في أنها تحدث في البكتيريا في ظروف لا هوائية ، ولا ينطلق الأكسجين Anoxygenic فيها كنتاج نهائي وكذلك فإن معطى الإلكترون يكون عبارة عن مركبات مختزلة Reduced compounds مثل مركبات الكبريت القابلة للأكسدة أو الأيدروجين الجزيئي أو مركبات عضوية . هذا على عكس النباتات الخضراء والطحالب حيث يكون معطى الإلكترون هو الماء H_2O وينطلق منها أكسجين Oxygenic كما يبدو من المعادلات التالية :

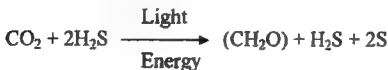
A: Plant photosynthesis



Or



B: Bacterial photosynthesis



٣- بكتيريا كيمو أوجانوتروفية Chemooorganotrophic bacteria

تستطيع بعض البكتيريا والأكثينوميستات والفطريات القيام بأكسدة مركبات الكبريت المعدنية ، وهذه الميكروبات الهيتروتروفية Heterotrophs لا تحصل على الطاقة من هذه التفاعلات والتي تعتبر ذات أهمية ثانوية في التمثيل الغذائي لهذه الميكروبات ويعكس الميكروبات الأوتوتروفية والتي تعتبر تفاعلات الأكسدة فيها المصدر الرئيسي أو الوحيد للطاقة . وتتضمن البكتيريا الهيتروتروفية القادرة على الأكسدة أنواعا تابعة لأجناس *Bacillus* ، *Arthrobacter* ، *Pseudomonas* ، *Flavobacterium* . وكذلك أنواعا تتبع لجنس *Streptomyces* . وبعض الفطريات التابعة لأجناس *Aspergillus* ، *Microsporium* ، *Penicillium* .

ونظرا لأن أعداد الميكروبات الهيتروتروفية المؤكسدة لمركبات الكبريت كبيرة ، فقد يظن أن هذه الميكروبات تلعب دورا هاما في أكسدة مركبات الكبريت قد يفوق دور الميكروبات الأوتوتروفية ، ويستدل على ذلك من تكون كميات كبيرة من الكبريتات بفعل هذه الفطريات واسعة الإنتشار والأنواع الكثيرة من البكتيريا غير ذاتية التغذية القادرة على أكسدة الكبريت غير العضوي .

رابعا : بإختزال مركبات الكبريت غير العضوية

Reduction of inorganic sulfur compounds

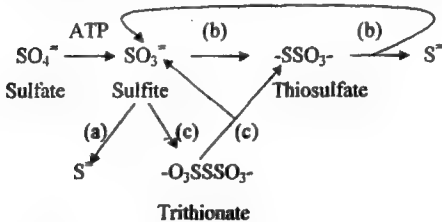
وضعت هذه المجموعة من البكتيريا تحت عنوان Dissimilatory sulfur or sulfate-reducing bacteria حيث تقوم هذه البكتيريا بإختزال الكبريتات أو الكبريتيد أو الثيوكبريتات أو التتراثيونات

تحت ظروف لا هوائية مكونة كبريتور الأيدروجين ، ومن أهم هذه الميكروبات :

١- *Desulfovibrio desulfuricans*

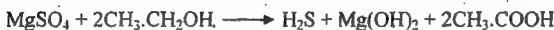
أفراد هذا الجنس تقوم بإنتاج H_2S من الكبريتات بمعدلات سريعة ، بعض أفراده قد تنمو في الحرارة المرتفعة وهي بكتيريا عصوية منحنية ، غير متجربة ، سالبة لجرام ، لا هوائية حتماً ، متحركة بواسطة فلاجيلا طرفية قطبية . ويتميز هذا الميكروب بأنه لا ينمو على درجة pH أقل من ٥,٥ ، وهذا ينعكس على عدم تكوين الكبريتيد بكميات كبيرة في الأراضي الحامضية.

ويوجد هناك ثلاثة مسارات للتمثيل الغذائي للكبريتيد وهي موضحة في شكل رقم ٢٠ : (أ) إختزال مباشر لإنتاج الكبريتيد مع عدم تكوين نواتج من الكبريت الحر ، (ب) تتكون أولاً الثيوكبريتات التي تنكسر بعد ذلك لإنتاج الكبريتيد مع إعادة تكوين بعض الكبريت ، (ج) إنتاج الثيونات الثلاثية أولاً التي تتحول بعد ذلك إلى خليط من الثيوكبريتات والكبريتيد .



شكل رقم ٢٠ : المسارات المحتملة لإختزال الكبريتات بواسطة *Desulfovibrio*

أفراد هذا الجنس مكونة للجراثيم وهى إما محبة للحرارة المتوسطة أو محبة للحرارة العالية وهى بكتيريا لا هوائية حتماً تقوم بإختزال الكبريتات إلى H_2S وتبين المعادلات التالية تفاعلات إختزال الكبريتات بواسطة الميكروبات السابقة :



وتقوم هذه الميكروبات بإختزال الكبريتات أو الكبريتيت أو البيوكبريتات ، كما أن بعض الفطريات والأكثينوميستات وبعض البكتيريا الأخرى مثل *Bacillus megaterium* ، *Pseudomonas desulfuricans* تستطيع القيام بعملية الإختزال .

ومن الجدير بالذكر أن ميكروب *Pseudomonas zelinskii* له القدرة على إختزال المركبات الكبريتية غير العضوية على حساب مواد معطية للأيدروجين ، لذلك فهذا الميكروب له القدرة على إنتاج الطاقة من مواد عضوية ، وكذلك من المواد غير العضوية مثل الأيدروجين ، ويستطيع هذا الميكروب استخدام الأيدروجين أو المواد العضوية المحتوية على أيدروجين في الإختزال ، وعلى هذا يعتبر هذا الميكروب أوتوتروفي إختياري *Facultative autotrophy* . والظروف التى تساعد على إختزال مركبات الكبريت تتضمن زيادة الرطوبة وإضافة مواد سهلة التحلل للتربة وإرتفاع درجة الحرارة ، كما أن العملية تكون سريعة فى الأراضى المتعائلة أو المائلة للقلوية .

للكائنات الدقيقة المسؤولة عن خفض كمية الكبريتات الميسرة تأثير كبير على خصوبة التربة حيث أنها تقلل من مصدر الإمداد الرئيسي للمحاصيل الزراعية بعنصر الكبريت . لذلك فإن البكتيريا المختزلة للكبريتات تعتبر ذات أهمية اقتصادية كبيرة . ويبدو أن H_2S الحر هو الذي يسبب هذه الأضرار للجذور وأن أيونات الحديدوز التي تعمل على ترسيب هذا الكبريتيد في صورة FeS تقلل أو تعمل على حماية النبات من للتأثير السام للكبريتيد . يمكن أيضا أن يعمل H_2S الذي تنتجه الميكروبات من جنس *Desulfovibrio* على قتل النيماتودا والفطريات التي تعيش في الأراضي المغمورة بالماء . وقد يكون لهذه الميكروبات اللاهوائية دورا بارزا في الأراضي الملحية من المناطق الجافة . فعند غمر هذه الأراضي بالماء ، وأحيانا ما يحدث ذلك ، فإنه ينتج عن اختزال البكتيريا للكبريتات إنتاج كميات متكافئة من الكربونات وهذه بدورها تعمل على ترسيب الكالسيوم في صورة $CaCO_3$ وبذلك تقلل من ملوحة التربة .

نشاط السلفاتيز في التربة الزراعية Sulfatase activity in soil

ونظرا لأن نسبة كبيرة من الكبريت العضوي في التربة تكون على صورة sulfate esters فإن إنزيمات الـ Sulfatase تلعب دورا هاما في عملية للمعدنة لهذه المركبات الكبريتية العضوية . ولقد ثبت وجود إنزيمات Sulfohydrolases في أنواع عديدة من الأراضي حيث تقوم بتحليل الكبريتات من مركبات الـ alkyl-, aryl and sugar sulfates . وتجدر الإشارة إلى أن مجموعة إنزيمات الـ Arylsulfatases كانت أول إنزيمات من طراز Sulfatases تكتشف في التربة الزراعية وكان ذلك عام ١٩٧٠ .

علاوة على الطرق الكيميائية التى تتبع لقياس يسر الكبريت Sulfur availability indexes فإن هناك تقديرات ميكروبية Microbial assays تؤدى إلى نفس الغرض فمثلا يستعمل سلالة خاصة من فطر *Aspergills niger* كميكروب حساس Test organism لقياس الكبريت الميسر ، وحيث تؤخذ كمية النمو دليلا على كمية الكبريت .

الأسمدة الكبريتية :

ومن الأسمدة الكبريتية التى تستخدم لمعالجة نقص الكبريت فى التربة الزراعية .

١- الكبريت :

سماد الكبريت S عبارة عن مادة صفراء اللون عديمة الرائحة غير لامعة يمكن استعمالها صلبة أو سائلة . وهذا السماد يستعمل مباشرة فى الزراعة بعد إستخراجه من باطن الأرض ويحتوى على ٩٠-٥٠% من عنصر الكبريت أو أكثر وذلك حسب درجة نقاوته .

٢- حامض الكبريتيك :

حامض الكبريتيك (H_2SO_4) عبارة عن مادة ثقيلة عديمة اللون ذات قوام دهني ويطلق عليه Oil of vitriol

٣- الجبس :

سماد الجبس ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) عبارة عن مادة بيضاء اللون يحتوى على عنصرى الكبريت والكالسيوم . هذا السماد معدن يوجد على شكل صخور ناعمة أو مادة تشبه الرمل من حيث الشكل . الجبس الزراعى

يحتوى على ٥٠-٩٥% كبريتات الكالسيوم ، وكبريتات الكالسيوم النقية
تحتوى على ٢٣,٥% كبريت (S) و ٢٩,٢% كالسيوم ؟

٤- كبريتات الأمونيوم

سماد كبريتات الأمونيوم $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ يحتوى على ٢٤% كبريت
(S) و ٢١% نيتروجين .

٥- كبريتات البوتاسيوم

سماد كبريتات البوتاسيوم (K_2SO_4) يحتوى على ١٨% كبريت (S)
و ٤١% بوتاسيوم K .

٦- كبريتات الألمونيوم :

سماد كبريتات الألمونيوم $(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)$ هو ملح يغرف بالـalum
أى الشبة يحتوى هذا السماد على ٤١,٤% من الكبريت (S) . ويستعمل
لتصحيح درجة تفاعل التربة وسد النقص بالحديد الجاهز . هذا السماد لا
يعمل على تزويد الحديد بل يعمل على زيادة درجة حموضة التربة وهذا
يؤدى إلى زيادة كمية الحديد الجاهز إذ أن الحديد تزداد جهازيته فى التربة
الحامضية .



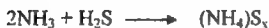
قد يستعمل هذا السماد (الشبة) فى نصفية وتنقية للمياه ، وذلك لأن
 $\text{Al}(\text{OH})_3$ الناتجة من تفاعل هذا السماد مع الماء تتفاعل مع الشحنتات السالبة
للطين والمادة العضوية الذائبة فى الماء (عملية الإمصاض) ويجعلها مادة
غير ذائبة مترسبة فى أحواض التنصيف والتى تسمى بالمروقات .

٧- سماد السوبر فوسفات :

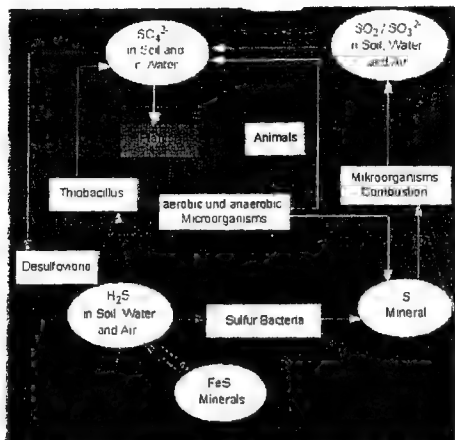
سماد مركز Superphosphate يحتوى على ١٧% P (٤٠%)
 (P_2O_5) و ٢٠% كبريت (S) ويصنع هذا السماد بمزج الكبريت السائل
 بالسوبر فوسفات المركز .

٨- سماد Ammonium polysulfide

هذا السماد سائل $(NH_4)_2S_x$ يحتوى على ٢٠% نيتروجين و ٤٠%
 كبريت (S) ويصنع من تفاعل الأمونيا مع كبريتيد الهيدروجين كما فى
 المعادلة الآتية :



ويمكن أن يضاف هذا السماد مباشرة إلى التربة أو يمزج مع الأسمدة
 السائلة أو يضاف إلى مياه الري . ويبين شكل رقم ٢١ التحولات
 الميكروبيولوجية للمركبات الكبريتية فى التربة الزراعية



شكل رقم ٢١ : التحولات الميكروبيولوجية للمركبات الكبريتية في التربة الزراعية

الفصل السابع :

التحولات الميكروبية للمركبات الفوسفورية
في التربة الزراعية

**Microbial Transformations of
Phosphorus Compounds in Soil**

الفصل السابع

التحولات الميكروبية للمركبات الفوسفورية فى التربة الزراعية

Microbial Transformations of Phosphorus Compounds in Soil

يعتبر الفوسفور من العناصر الغذائية الضرورية للنبات وذلك لدوره المباشر فى معظم العمليات الحيوية حيث لا يمكن أن تجرى أى من العمليات الحيوية داخل الخلية النباتية بدونه. ويوجد للفوسفور بالتربة الزراعية بكميات أقل بكثير من كمية النيتروجين أو كمية البوتاسيوم. ويوجد الفوسفور فى القشرة الأرضية بنسبة تصل إلى حوالى ٠,١١% تكون مرتبطة بمادة التربة العضوية. وتختلف نسبة الفوسفور فى التربة حسب نوعها ودرجة الحرارة، والمحتوى الرطوبى وكذلك عمر التربة، تكون كمية الفوسفور الكلى فى التربة المعدنية قليلة نسبياً. وبصورة عامة يكون محتوى التربة ذات النسيج الخشن من الفوسفور الكلى أقل من محتوى التربة ذات النسيج الناعم الموجودة فى نفس الظروف الجوية. أما التربة العضوية فإن محتواها من الفوسفور الكلى يكون أعلى من محتوى التربة المعدنية وترداد نسبته فى الطبقة السطحية للتربة بسبب ارتفاع معدل تحلل المادة العضوية فيه. كذلك فإن تربة المناطق الجافة وشبه الجافة يكون محتواها من الفوسفور الكلى أقل من محتوى التربة فى المناطق الرطبة المتشابهة فى التركيب. ويوجد الفوسفور فى التربة الزراعية على صورتين هما الفوسفور المعدنى والفوسفور العضوى.

١- الفوسفور المعدنى Inorganic phosphorous

يوجد الفوسفور المعدنى فى التربة الزراعية فى صورة فوسفات معدنى مرتبط بالكالسيوم أو الحديد أو الألمونيوم أو قد تكون مدمصة على الجزيئات الغروية بالتربة الزراعية.

عند التسميد الفوسفورى للأراضى فإن الفوسفور القابل للاستفادة بواسطة النبات يتعرض لتحولات تتوقف على درجة pH للتربة ، ففي الأراضى القاعدية نجد أن فوسفات الكالسيوم الأحادى المضافة الذائبة والصالحة للنباتات تتحول بسرعة إلى الحالة الثلاثية غير الذائبة والتي تترسب مما يجعلها أقل صلاحية للنباتات. ولكن وبالرغم من أنها تترسب فى صورة غشاء رقيق حول الحبيبات فإن لها سطحاً نوعياً كبيراً جداً ما يعطى الميكروبات وجذور النباتات فرصة كبيرة لتحويلها إلى الصورة الذائبة مرة ثانية. أما الأراضى الحامضية ذات الـ pH المنخفض فإن الفوسفات الذائبة تترسب فى صورة فوسفات حديد أو لمونيوم وهذه تكون شديدة المقاومة لعملية الإذابة مما يؤدي لظهور أعراض نقص الفوسفور وذلك ما لم تسمد بكميات كبيرة من الأسمدة الفوسفاتية أو التسميد الورقى . ويمكن تقسيم مركبات الفوسفور المعدنى المترسبة فى التربة إلى ثلاثة أقسام رئيسية هي :

١- فوسفات الحديد والألمونيوم Fe-Al phosphate ومن المركبات التابعة لهذا القسم هي : $Al_3(PO_4)_2(OH)_3 \cdot 5H_2O$ ، Wavellite ، $Al PO_4 \cdot 2H_2O$ Variscite و $FePO_4 \cdot 2H_2O$ Strengite وأن ترسبات هذه المركبات تكون ثابتة فى الأراضى الحامضية وهى غير قابلة للذوبان.

ب- فوسفات الحديد - الألمونيوم - الكالسيوم Ca-Fe-Al-Phosphate
ومن أهم معادن هذا القسم هي:

Crandallite $\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Millisit $(\text{Na}, \text{K})\text{CaAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_9 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

وهذه المعادن تكون عادة متحدة بعضها ببعض بمركبات أقسام
الفوسفور الأخرى.

ج- فوسفات الكالسيوم Ca-phosphate

من أهم مركبات فوسفات الكالسيوم الموجودة في التربة هي :

، Carbonate apatite $3\text{Ca}(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCO}_3$ ، Fluorapatite $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$
، Oxy apatite $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{CaO}$ ، Hydroxy apatite $3\text{Ca}(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$
، Dicalcium phosphate CaHPO_4 ، Tricalcium phosphate $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
، Monocalcium phosphate $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$

هذا ويعد معدن الأباتيت هو المعدن الرئيسي الذى يحتوى على
الفوسفور في تركيبه ، وهو يوجد في كل الظروف الجيولوجية التى تكون
الصخور النارية، والمتحولة والتمرسية ، ويعد الأباتيت المترسب المصدر
الرئيسى للفوسفور الصناعى . وتعد فوسفات الكالسيوم الأحادية CaHPO_4
والثنائية $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ أكثر جهازية للنبات ثم يتبعها من حيث معدل الذوبان
فوسفات الكالسيوم الثلاثية Oxy apatite و Hydroxy apatite و Carbonate
apatite. وكذلك Fluorapatite التى تعد أقل فوسفات الكالسيوم ذوباناً في
التربة وهى غير جاهزة للنبات.

٢- الفوسفور العضوى Organic phosphorous

يوجد فى التربة بنسبة ١٥-٨٥% من الفوسفور الكلى ويوجد للفوسفور على الصورة العضوية فى التربة من بقايا النباتات وأجسام الميكروبات ويوجد فى العديد من المركبات العضوية مثل الأحماض النووية - الفسفولبيدات - الفيتين - اللبسيثين - المرافقات الإنزيمية . يوجد الفوسفور فى المركبات العضوية فى الصورة المؤكسدة (PO_4^{3-}) ويوجد الفوسفور فى الأراضى المصرية فى صورة فوسفات كالمسيوم ثلاثية $Ca_3(PO_4)_2$ غير الذائبة .

ومن الوظائف الحيوية للفوسفور أنه يشارك فى تحليل الكربوهيدرات والمواد الأخرى الناتجة عن عملية التمثيل الضوئى لتحرير الطاقة اللازمة للعمليات الحيوية للنبات . كما أنه يساعد فى عملية تكوين وإنقسام الخلايا علاوة على أنه يعمل على المشاركة الفعالة فى نقل الصفات الوراثية عن طريق DNA ، حيث يشارك فى تركيب العديد من المركبات التى تسهم فى تكوين RNA مثل UTP ، ATP ، CTP ، GTP . لذلك فإن نقص الفوسفور يؤدى إلى ظهور أعراض على الأوراق للقديمة ذات اللون الأخضر الداكن . ويشوب اللون البنى لأوراق أشجار الفاكهة وتسقط قبل إكمال نضجها وتتلون سيقان النباتات الحولية بلون محمر ناتج عن تكوين مادة الأنثوسيانين . كما تظهر أشجار الفاكهة تناقصاً فى معدلات نمو الأغصان الحديثة . علاوة على تكون ثمار وبذور غير جيدة فى حالة نقص الفوسفور .

تحولات الميكروبية للمركبات الفوسفورية في التربة :

Microbial Transformations of Phosphorus Compounds in Soil

تقوم الميكروبات بدور حيوي في إذابة الفوسفات المعدنية غير الذائبة في التربة الزراعية وتحويلها إلى صورة للجهازية . للميكروبات الهيتروترافية دوراً رئيسياً في معدنة الفوسفور العضوي وتحويله إلى الصورة المعدنية الجاهزة للنبات . وتحتاج الميكروبات إلى فوسفات لبناء أجسامها لذلك تلجأ إلى الفوسفات المعدنية الذائبة في التربة وتحويلها في أجسامها إلى فوسفات عضوية خلال عملية Immobilization علوة على قيامها بأكسدة أو اختزال المركبات الفوسفورية غير العضوية في التربة . تعتبر التفاعلات المؤدية إلى معدنة أو تمثيل الفوسفور من أهم الخطوات التي تتم في دورة الفوسفور في الطبيعة.

١- إذابة الفوسفات المعدنية : Solubilization of organic phosphorus

يعتبر Saket et al., 1908 أن من تمكن من ملاحظة وجود الميكروبات المنذية للفوسفات معملياً وهذه الميكروبات يمكنها إذابة فوسفات الكالسيوم الثلاثية وتحويلها إلى الصورة الأحادية القابلة للاستفادة. وتمكن العلماء من تفسير قابلية هذه الميكروبات لإذابة الفوسفات حيث أنها تنتج ثاني أكسيد الكربون أثناء نشاطها بالإضافة إلى إفرازها للعديد من الأحماض العضوية من بينها حامض الفورميك - الخليك - البروبيونيك - الستريك واللاكتيك وغيرها وهذه الأحماض لها القدرة على إذابة الفوسفات المعدنية غير الذائبة . كذلك وجد أن الأحماض العضوية من نوع Alpha hydroxyl acids تكون أفضل من غيرها على إذابة الفوسفات. وتعمل الأحماض العضوية وغير العضوية على تحويل $Ca_3(PO_4)_2$ إلى فوسفات ثنائي

وأحادي وتكون المحصلة النهائية لذلك هو توفر هذا العنصر في صورة ميسرة للنبات .

ولقد لوحظ أن تكون الإذابة أكثر تحت الظروف الهوائية ، علاوة على أن تحلل المواد العضوية بخفض درجة جهد الأكسدة والإختزال (EH) في التربة مما يؤدي إلى تحول الحديدك إلى حديدوز ذائب وهذا يساعد على قابلية الاستفادة من الفوسفات ويظهر تأثير الظروف اللاهوائية بوضوح على الأراضي المزرعة بالأرز تحت نظام الغمر .

٢- إذابة الفوسفات غير العضوية :

Solubilization of inorganic phosphorus

وجد أن ١٠% إلى ٥٠% من العزلات البكتيرية المختبرة لديها القدرة على إذابة مركبات فوسفات الكالسيوم وأن أعداد هذه البكتيريا تتراوح بين 10^5 - 10^6 جرام تربة جافة . وتتواجد هذه البكتيريا بوفرة على سطوح الجذور وفي منطقة الريزوسفير ، وقد وجد أن أنواع الميكروبات النشطة في هذا المجال هي البكتيريا المتجزمة مثل *Bacillus* sp. والبكتيريا الكروية مثل *Micrococcus* sp. ، *Mycobacterium* sp. ومن البكتيريا العصوية القصيرة *Pseudomonas* sp. ، *Flavobacterium* sp. وممن للفطريات *Aspergillus* sp. ، *Fusarium* sp. ، *Sclerotium* sp. ، *Penicillium* sp. بالإضافة إلى غيرها من الأجناس الأخرى وتتمو هذه البكتيريا والفطريات في منابت غذائية معملية تحتوي على فوسفات الكالسيوم الثلاثية غير الذائبة $Ca_3(PO_4)_2$ ولا يقتصر فعل هذه الميكروبات على مجرد القيام بتمثيل هذا العنصر بل أنها تقوم بتحويل جزء كبير منه إلى الصورة الذائبة بكميات تتجاوز إحتياجاتها الغذائية منه وبذلك يكون للزائد عن حاجتها موجوداً في

لوسط المحيط بالميكروب . ويعتبر قيام الميكروبات بإنتاج الأحماض العضوية هو الوسيلة الأساسية التي تمكن الكائنات الحية الدقيقة من تحويل مركبات الفوسفور غير الذائبة إلى الصورة الذائبة الصالحة لإحتياج النبات .

ولقد وجد أنه عند تحضير خليط من التربة أو السماد العضوى مع الكبريت المعدنى وصخر الفوسفات فإن إستمرار عملية أكسدة الكبريت إلى حامض كبريتيك بواسطة البكتيريا من جنس *Thiobacillus* يصاحبها زيادة في حموضة المخلوط مع إنتاج الفوسفات الذائبة . وقد يعمل تولد الكثير من الكائنات الدقيقة المذيبة للفوسفات في منطقة الريزوسفير *Rhizosphere* على الإسراع من تمثيل النباتات للرقية لعنصر الفوسفور .

تلقيح التربة بالميكروبات المذيبة للفوسفات :

Soil inoculation with phosphate solubilizing bacteria

قامت دراسات عديدة بغرض تحضير لقاح بكتيرى له تأثير مشجع على نمو النباتات وإذابة الفوسفات غير القابلة للذوبان وأعطى لهذا اللقاح اسم *Phosphobacterin* . وهو عبارة عن سلالة بكتيرية لميكروب *Bacillus megatherium* var. *phosphaticum* محملة على حامل من الكاولينايت *Kaolinite* أو مادة عضوية ويتم ذلك بتلقيح البذور أو الجنور أو التربة، ولقد طبق ذلك على نطاق واسع وقد أعطى نتائج محمودة واعدة .

تتم معننة الفوسفور في الأراضى البكر أسرع منها في تلك الأراض المنزرعة. وبالإضافة إلى زيادة الكمية الكلية التى تتم معننتها في الأراضى البكر فإن النسبة المئوية للفوسفور العضوى الكلى الذى يتم تحويله تكون الأخرى أكبر في الأراضى البكر عنها في تلك الأراضى المنزرعة. تتناسب

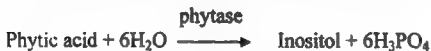
درجات الحرارة المرتفعة عمليات التحلل كما أن المدى الحرارى المرتفع المناسب للميكروبات المحبة للحرارة العالية يعتبر أكثر ملائمة من المدى الحرارى المتوسط . وتنشط معدلات معدنة الفوسفور نتيجة التعديل في درجة حموضة التربة إلى الحد الملائم لعمليات التمثيل الغذائى الميكروبيى بوجه عام، وأن تحويل رقم الأس الأيدروجينى للتربة من الحموضة إلى ناحية التعادل يزيد من معدل إنتاج الفوسفات . أضف إلى ذلك أن معدل المعدنة يرتبط مباشرة بكمية المادة المتحولة وعلى ذلك فإن النشاط فى الأراضى الغنية بالفوسفور يتم بمعدلات أعلى . ووجود الفوسفور غير العضوى لا يعمل على تثبيط عملية المعدنة فهى تستمر بسرعة حتى فى الأماكن التى يتوفر بها الفوسفات وكما هو متوقع، فإن امتصاص النباتات لعنصر الفوسفور يكون مرتبطا مع معدل معدنة هذا العنصر . وترتبط كل من عمليتى معدنة وتمثيل هذا العنصر بنفس التفاعلات المناظرة الخاصة بعنصر النيتروجين ، وكقاعدة عامة فإن معدل تكوين الفوسفات يزيد تحت نفس الظروف الملائمة لعملية النشطرة. لهذا فقد لوحظ ارتباط مؤكد بين معدلات تحويل كل من النيتروجين والفوسفور إلى الصورة غير العضوية .

معدنة الفوسفور العضوى

Mineralization of organic phosphorous

يوجد الفوسفور فى النباتات فى صورة مركبات مختلفة مثل الأحماض النووية والفوسفوليبيدات والفيتين واليسيتين والسكريات المفسفرة والمرافقات الإنزيمية وفوسفات الأدينوسين مثل ADP ، ATP . ويوجد الفوسفور فى المركبات العضوية فى الصورة للمؤكسدة (PO_4^{3-}) رغم أن كل من الفيتين والأحماض النووية إذا أضيف للبيئات الغذائية فإنها تتمعدن بسرعة وتتحول

إلى صورة فوسفات جاهزة للنبات إلا أن الوضع يختلف كثيراً عند إضافتها للتربة حيث أن قابليتها للتحلل والتحول إلى الصورة الجاهزة للنبات تقل كثيراً. وهذا الاختلاف يرجع إلى التفاعلات التي تتم بين هذه المركبات للفوسفورية العضوية وبين كثير من مركبات التربة ، وكذلك تتأثر بدرجة حموضة الوسط. هذا ويسلك الفيتين مسلك الفوسفات غير العضوية في تفاعلاته مع الكالسيوم والحديد والألمونيوم في التربة . وفي التربة الحامضية فإنه يكون مرتبطاً في صورة معقد مع الحديد والألمونيوم . وهذه الأملاح تكون قابليتها للذوبان قليلة بدرجة كبيرة حتى أنها تكون أقل ذوباناً من فوسفات الحديد والألمونيوم المعدنية في هذه التربة . أما في التربة القاعدية فإن الفيتين يوجد في التربة على صورة فيئات كالسيوم أو ماغنسيوم وهذه وأن كانت قليلة الذوبان إلا أن مقاومتها للتحلل الميكروبي أقل من فوسفات الحديد أو الألمونيوم. والفيتين من الناحية الكيميائية عبارة عن Inositol hexaphosphate وفي الظروف المناسبة يتحلل ميكروبياً بواسطة إنزيمات Phytase الذي تستطيع كثير من ميكروبات التربة إنتاجها كما في المعادلة :



يعتبر نشاط إنزيم الفيتين من النشاطات واسعة الإنتشار في التربة الزراعية حيث أن حوالي ٣٠% إلى ٥٠% من الميكروبات المعزولة من التربة يمكنها تخليق هذا الإنزيم ، كما يزداد نشاط هذه الميكروبات في الطبيعة عند إضافة المواد الكربوهيدراتية التي تعمل على زيادة كثافتها العددية. وقد وجد أن أنواع الميكروبات القادرة على تخليق هذا الإنزيم تتبع أجناس *Pseudomonas* ، *Bacillus* ، *Aspergillus* ، *Penicillium* ، *Rhizopus* ، *Arthrobacter* ، *Streptomyces* مع ذلك فإنه على الرغم من وجود النشاط

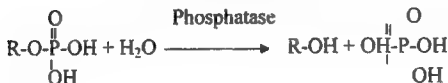
الكامن لإنزيم الفيتيز بدرجة عالية فإنه لا يحدث تمثيل لمركبات الفيتين بكثرة في التربة. ويبدو أن فترة الكائنات الدقيقة المنتجة لإنزيم الفيتيز ، وهي فترة عالية بالفعل ، ليست هي العامل المحدد لحدوث عمليات التحلل المائي لهذا المركب بل أن قلة حدوث مثل هذا التحلل في التربة يرجع إلى وجود حامض الفيتيك بكميات صغيرة في محلول التربة .

بالنسبة للفوسفوليبيدات فهي عبارة عن مركبات من اللبيدات مرتبطة مع الفوسفات ويؤدي التحلل البيولوجي لها إلى تحرر للفوسفات منها بواسطة إنزيمات Phosphatase . وهناك قسم خاص من الفوسفوليبيدات يتضمن اللبسيثين والسيفانين وتوجد فيها الفوسفات في صورة رابطة إستر مع قاعدة هيدروجينية لذلك فإن تحلل اللبسيثين بيولوجيا يعطى جليسرول وحامض أميني وحامض دهني وفوسفات وقاعدة نيتروجينية .

تقوم بعض البكتيريا والفطريات والأكتينوميسيتات باستخدام الفوسفوليبيدات كمصادر للفوسفور . يمكن استخدام الليثيسين كمادة مناسبة لتقدير نشاط الميكروبات في تحليل هذه المركبات حيث أن الفوسفات في هذا المركب العضوي تنفصل منه ثم تقوم الميكروبات المسؤولة عن ذلك بتمثيلها. ولما كانت كمية الفوسفور الناتجة تتجاوز إحتياجات الكائنات غير ذاتية التغذية ، فإن جزءاً منه سوف يصبح ميسراً لإمتصاص النبات أيضاً .

أما الأحماض النووية فإنها تعتبر أسرع المركبات الفوسفاتية العضوية تحللاً في التربة ويمكن تفسير ذلك على أساس أن الأحماض النووية تتميز باحتواءها على كلا من الكربون والنيروجين والفوسفور في تركيبها مما يشجع نمو الميكروبات التي تقوم بتحليلها بواسطة إنزيمات Nucleases. والأحماض النووية وعند تحليلها ميكروبياً تتحلل أولاً إلى مكوناتها الأساسية

وهي قواعد نيتروجينية مثل قواعد البورين والبيرمدين وسكريات خماسية. ولقياس قدرة الميكروبات على تحليل الفوسفات العضوية في التربة يستخدم معدل نشاط إنزيم Phosphatase كدليل على مقدرة الميكروبات على إذابة الفوسفات حيث أن هذا الإنزيم يفكك رابطة الاستر بين مجموعات الفوسفات وباقي المركبات العضوية مما يحرر الفوسفات إلى صورة معدنية قابلة للاستفادة بواسطة النبات حيث يجرى الإنزيم التفاعل التالي :



تمثيل الفوسفور في أجسام الميكروبات P-immobilization

تحتاج الميكروبات إلى الفوسفور لبناء أجسامها مثل غيرها من الأحياء ولذلك فإن توفير هذا العنصر في صورة ملائمة يكون ضرورياً لقيام الميكروبات بوظائفها الحيوية. وتحت الظروف العادية فإن كمية الفوسفور الجاهزة في التربة تكون كافية للنشاط الميكروبي ولكن عند إضافة مادة عضوية غنية بالكربون سهلة التحلل وفقيرة في الفوسفور فإن الميكروبات لا تجد ما يكفيها من الفوسفور لبناء أجسامها من هذه المادة وبذلك فإنه أثناء التحلل لا يحدث معدنة لكميات الفوسفور القليلة الموجودة في تلك المادة العضوية حيث تمتلأ الميكروبات في أجسامها وإن لم تكفيها فأنها تلجأ إلى الفوسفور المعدنى للذائب والميسر في التربة لاستكمال إحتياجاتها من الفوسفور مما يقلل الفوسفور الجاهز للنبات في التربة . وقد يتأثر المحصول من ذلك لحد كبير وتسمى هذه العملية باسم تثبيت الفوسفور في أجسام الميكروبات Immobilization . لما إذا أضيفت للتربة مادة عضوية غنية

بالفوسفور فإن الميكروبات أثناء تحليلها لهذه المادة سوف تجد ما يكفيها من الفوسفور وزيادة وبذلك لا تحدث عملية Immobilization للفوسفور الجاهز ولكن تحدث معدنة Mineralization وعلى ذلك فإن العامل الأساسي الذي يتحكم في عملية المعدنة أو الفقد للفوسفور أثناء تحليل أى مادة عضوية هو نسبة الفوسفور في هذه المادة . فإذا كانت نسبة الفوسفور في المادة العضوية مرتفعة أى أن نسبة الكربون إلى الفوسفور تكون صغيرة أو ضيقة فإن الفوسفور الموجود فيها يكون أكثر من إحتياجات الميكروب ولذلك تحدث المعدنة والعكس صحيح.

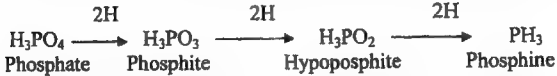
كذلك وجد أن الفوسفور يمثل ٠,٥% من وزن الميسيليوم الجاف للفطريات، ١-٣% من الوزن الجاف للخلايا البكتيرية وربما الأكتينوميسيتات. ويمكن إعتبار أن كمية الفوسفور اللازمة لوصول الميكروب لأقصى درجات النمو هي ٠,٣% بالوزن من المادة العضوية.

تفاعلات الأكسدة والإختزال لمركبات الفوسفور في التربة

Oxidation reduction reactions of phos. Compounds in soil

تعتبر تفاعلات الأكسدة في حالة مركبات الفوسفور العضوية ليس لها أهمية حيث أن الفوسفور يوجد في المركبات العضوية في صورة H_3PO_4 وعندما يتحرك من المادة العضوية فإنه يتحرك في صورة حامض أرثوفوسفوريك الجاهزة للنبات مباشرة . ويمكن الاستدلال على حدوث الأكسدة الحيوية للمركبات الفوسفورية المختزلة عند إضافة الفوسفات إلى التربة ، فيختفى هذا المركب ويصاحب ذلك زيادة تركيز الفوسفات. أما تفاعلات الإختزال فإن أهميتها في دورة الفوسفور محدودة ومع ذلك فإن

إختزال الفوسفات يمكن أن يتم بدرجة محدودة تحت الظروف اللاهوائية وعند توفير مواد قابلة للأكسدة بنسبة كبيرة يتم الإختزال على النحو التالى :



ولقد أوضحت الدراسات إحتواء الأراضى المصرية على أعداد كبيرة من الميكروبات المنيبة للفوسفات تصل إلى عدة ملايين لكل جرام تربة جافة. وتزداد هذه الأعداد في الأراضى الخصبة وتقل في الأراضى الملحية والقلوية وتوجد بكثافة في الأراضى المنزرعة بالبقوليات خاصة في منطقة الريزوسفير . كما تلعب الميكورهيذا دوراً ملموساً في إمداد النباتات المتعايشة معها بالفوسفور الميسر . علاوة على أن وجود الميكروبات المنيبة للفوسفات بكثافة عالية في الأراضى المصرية يلعب دوراً مؤثراً في إنتاجية هذه الأراضى . ولقد وجد أن تلقيح التربة أو للبذور بالسلالات المحلية ذات الكفاءة العالية في إذابة الفوسفات يزيد من نمو النباتات وإمتصاصها للفوسفات . ولقد وجد أيضاً أن أكثر أنواع الميكروبات إنتشاراً ذات الكفاءة العالية في تحليل الفوسفات العضوى والمعدنى في الأراضى المصرية هى الأنواع المتجترمة التى تتبع جنس *Bacillus* وأهمها النوع *Bacillus megatherium* وكذلك الأنواع التى تتبع جنس *Streptomyces* .

إحتفاظ التربة بالفوسفور :

ويقصد بإحتفاظ التربة بالفوسفور هو ذلك الجزء من الفوسفور الذى يحمل ويكون مرتبطاً بصورة ضعيفة بحبيبات التربة والذى يمكن استخلاصه

بحامض مخفف ويكون هذا الجزء جاهزاً وميسراً للنبات . ولقد وجد أن ميكانيكية احتفاظ التربة بالفوسفور تضم تفاعلات عديدة وهي:

أولاً : احتفاظ التربة الحامضية بالفوسفور

١- صورة أكسيد الحديد والألمونيوم

إن الأكاسيد المائية لهذه المعادن قد توجد بصورة منفردة أو على شكل مواد مغلفة لحبيبات التربة حيث تتفاعل مع الفوسفور الذائب في محلول التربة الحامضية على صورة H_2PO_4 وينتج عنه فوسفات الحديد أو الألمونيوم المرتبطة بالمعادن وبذلك يتحول الفوسفور الذائب الميسر للنبات إلى فوسفور غير ذائب.

٢- صورة أيونات الحديد والألمونيوم

في التربة الحامضية ذات درجة الـ pH المنخفض يزداد تركيز أيونات الحديد والألمونيوم في محلول التربة التي تقوم بدورها بالتفاعل مع الفوسفور الموجود على صورة H_2PO_4 الذي يكون بصورة ذائبة وجاهزة للإمتصاص بواسطة النبات . ونتيجة هذا التفاعل يتحول الفوسفور الذائب والجاهز إلى فوسفور غير ذائب مترسب وغير جاهز للإمتصاص بواسطة النبات على شكل فوسفات الحديد والألمونيوم وبذلك يتسبب فوسفور التربة .

٣- التثبيت في الطين السيليكاتي

يمكن لفوسفور التربة الذائب أن يتحد بمعادن الطين مثل الكاولينيت ، المونتورولونيت والأليت في التربة المتوسطة الحموضة وهذا يحصل إما عن طريق إزاحة مجاميع الهيدروكسيل من على سطح بلورات معادن الطين ويحل محلها الفوسفور الذائب . إن بعض معادن الطين تحتفظ أو تثبت

الفوسفور بكميات أكبر من الكميات التي تثبتها بعض معادن الطين الأخرى .
والطريقة الأخرى للإحتفاظ تكون عن طريق إرتباط الكالسيوم الموجود على
سطوح معادن الطين بصورة متبادلة مع الفوسفور الذائب في محلول التربة
وبذلك تتكون رابطة من الطين-الكالسيوم-الفوسفور . ومثل هذا الإحتفاظ
يسود في بعض معادن الطين .

ثانياً : إحتفاظ التربة القاعدية بالفوسفور

وجد أن تفاعلات الفوسفور الموجودة في محلول التربة القاعدية
تؤدي إلى إنخفاض جهازية الفوسفور ودرجة تيسره للنبات كما يلي :

١- الترسيب على شكل فوسفات الكالسيوم الثلاثية

يزداد نشاط وتركيز أيونات الكالسيوم في التربة القاعدية التي تؤدي
إلى تقليل جهازية الفوسفور وذلك بتحويله من صورة ذائبة إلى صورة غير
ذائبة . وهذا يكون عن طريق تفاعل أيونات الكالسيوم الموجودة في محلول
التربة مع الفوسفور الموجود بصورة HPO_4 وترسيبه على شكل فوسفات
الكالسيوم الثلاثية أو فوسفات الكالسيوم الثلاثية وبهذا تقل درجة ذوبان
وجهازية الفوسفور في التربة . هذا ومن المعروف أن درجة ذوبان فوسفات
الكالسيوم الأحادية تكون أكبر من درجة ذوبان فوسفات الكالسيوم الثنائية التي
بدورها تكون درجة ذوبانها أكبر من فوسفات الكالسيوم الثلاثية .

٢- الترسيب على سطح حبيبات كربونات الكالسيوم

تقل جهازية الفوسفور في التربة القاعدية التي تحتوي على كربونات
الكالسيوم بصورة حرة وذلك بسبب ترسب أيونات الفوسفور التي تكون قريبة

من حبيبات كربونات الكالسيوم الحرة على سطوح حبيبات كربونات الكالسيوم وتركيز الفوسفور للذائب في محلول التربة.

٣- احتفاظ معادن الطين بالفوسفور

قد يحصل احتفاظ للفوسفور للذائب في محلول التربة القاعدية والمشبعة بمعادنها الطينية بالكالسيوم على سطوح معادن الطين هذه عن طريق تكوين رابطة من الطين - الكالسيوم - الفوسفور كما يحصل في التربة الحامضية. وبذلك يقل تركيز الفوسفور للذائب في التربة ويكون علاج ذلك بإضافة كميات كبيرة من الأسمدة للفوسفاتية من أجل المحافظة على مستوى نشاط جيد وملئم لنمو النبات في التربة .

حفظ فوسفور التربة

لأهمية حفظ عنصر الفوسفور من حيث جهازيته وتأثيره على خصوبة التربة وتغذية النبات ، فيجب التعرف على العوامل التي تؤثر في حفظ الفوسفور في التربة ومنها كمية الطين ونوعيته حيث تؤدي زيادة نسبة الطين في التربة إلى زيادة الإرتباط بين فوسفور محلول التربة ومعادن الطين وهذه الزيادة في الطين تؤدي إلى زيادة درجة احتفاظ التربة بالفوسفور. كذلك يلعب زمن التفاعل بين الفوسفور والتربة دوراً هاماً حيث وجد أن تعرض للفوسفور المضاف للتربة لفترة زمنية طويلة يؤدي إلى زيادة درجة احتفاظ التربة بالفوسفور وبذلك تزداد الكمية المحتفظ بها منه. ولذلك لا ينصح بإضافة الفوسفور إلى التربة دفعة واحدة بحيث تكون جذور النباتات قادرة على إمتصاصه وكذلك يجب إضافة السماد الفوسفاتي بطريقة الفثر حيث يؤدي لزيادة الاحتفاظ به . أما من حيث درجة تفاعل التربة فقد

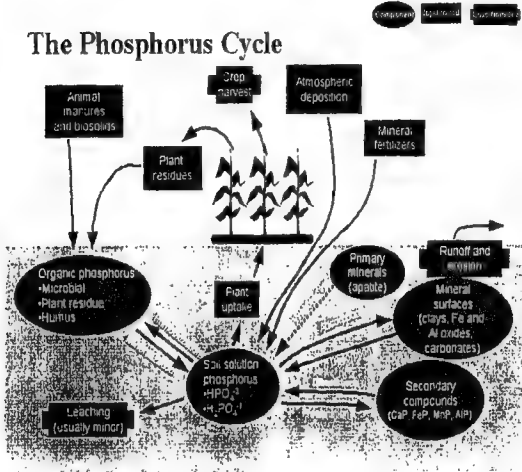
وجد أن الدرجة من ٥,٥-٧ أفضل لتيسير فوسفور التربة للنبات وتقل الجهازية في حالة انخفاض أو ارتفاع درجة تفاعل التربة .

ولقد وجد أن ارتفاع درجة الحرارة يشجع التفاعلات الكيماوية ويزيد معدلها حيث تكون درجة إحتفاظ التربة بالفوسفور تزداد في تربة المناطق الحارة أو الدافئة وكذلك لإرتفاع نسبة أكاسيد الحديد والألمونيوم في تربة المناطق الحارة والدافئة. وكذلك لإرتفاع نسبة أكاسيد الحديد والألمونيوم في تربة المناطق الحارة أو الدافئة . أما من حيث المادة العضوية فقد وجد أن زيادة محتوى التربة من المادة العضوية يؤدي إلى زيادة جهازية عنصر الفوسفور في التربة وذلك عن طريق تقليل تعرض الفوسفور للعوامل التي تساعد على حفظه وترسيبه وكذلك بإزاحة الفوسفور المحتفظ به وتيسيره للنبات حيث وجد أن تحلل المادة العضوية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة ينتج حامض الكربونيك الذي يعمل على إذابة عدد من المركبات الفوسفاتية غير الذائبة فيزيد الفوسفور الذائب في التربة .



وأن مادة الدبال الناتجة من تحلل المادة العضوية تزيد من جهازية الفوسفور للنبات حيث يكون تفاعل الدبال مع الفوسفور معقد Phosphohumic يكون أكثر جهازية للنبات من المركبات الأخرى وخاصة في التربة الكلسية . أما في حالة فوسفور التربة فقد وجد أن التربة المشبعة بالفوسفور نتيجة الإضافات المستمرة وأن الفوسفور الذي يضاف إلى التربة بعد حالة التشبع يكون في حالة ميسرة للنبات ومن هذا يجب تحديد كمية السماد الفوسفاتي المضاف للتربة المشبعة وللغير مشبعة بالفوسفور. ويبين

شكل رقم ٢٢ التحولات الميكروبيولوجية للمركبات الكبريتية في التربة الزراعية



شكل رقم ٢٢ : التحولات الميكروبيولوجية للمركبات الفوسفورية في التربة الزراعية

الفصل الثامن :

التحولات الميكروبية لمركبات الحديد
في التربة الزراعية

**Microbial Transformations
of Iron Compounds in Soil**

الفصل الثامن

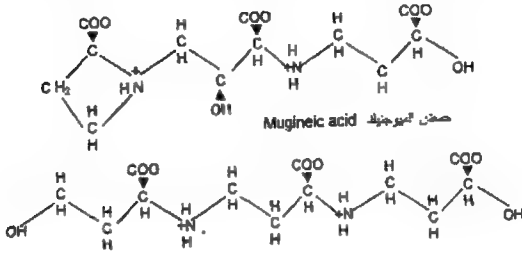
التحولات الميكروبية لمركبات الحديد في التربة الزراعية

Microbial Transformations of Iron Compounds in Soil

يعتبر عنصر الحديد ضرورياً لنمو النبات ، حيث أنه يدخل في تركيب بعض المركبات الخلوية المهمة في نظام الأكسدة والإختزال مثل البروتينات الهيمية Hem protein . هناك أيضاً نظام السييتوكروم والذي يغير حالة الحديد بين حالة الأكسدة الثنائية Fe^{+2} والثلاثية Fe^{+3} في سلسلة نقل الإلكترونات في عمليتي البناء الضوئي والتنفس الخلوي الهوائي ونظام الأكسدة والإختزال وكذلك الإنزيم المسئول عن إختزال النترات والبروتينات غير الهيمية Nonhem protein . وتعرف البروتينات غير الهيمية أيضاً بالبروتينات الكبريتية الحديدية Iron-sulfur protein ومن أشهرها الفيردوكسين Ferredoxin الذي يعمل كناقل للإلكترونات في عدد من عمليات الأيض مثل عملية البناء الضوئي وتثبيت النيتروجين وإنزيم الأكونيتاز في دورة كريبس . يدخل الحديد أيضاً في تركيب بعض الإنزيمات مثل البيروكسيداز Peroxidase والكتالاز Catalase وبعض المؤكسدات الحيوية خاصة الفلافوبروتينات المعدنية Metal flavoproteins . من ناحية أخرى فإن الحديد مهم لبناء بعض البروتينات في البلاستيدات الخضراء التي لها دور هام في عملية بناء الكلوروفيل رغم أنه لا يدخل في تركيبه . هذا ويمتص الحديد من التربة الزراعية بصورة رئيسية في حالة ثنائية الأكسدة (Fe^{+2}) ولكن أحياناً قد يمتص على الصورة الثلاثية (Fe^{+3}) حسب درجة

توفره في التربة الزراعية . وتسهم المركبات المخالبية الطبيعية كـ بعض المركبات الفينولية مثل الكاتيكول Catechol التي تفرزها البكتيريا أو بعض البروتينات مثل الهيدروكسيمات hydroximates التي تفرزها بعض الفطريات ومنها الفطريات الجذرية Mycorrhizae ، أو مثل بعض الأحماض الأمينية والأحماض العضوية حيث تساعد كل هذه المركبات في تيسير الحديد للنبات . لقد وجد أن جذور بعض النجيليات تقوم بإفراز بعض المركبات المخالبية للحديد الثلاثي Sidrofors وتسمى هذه المركبات أيضاً بحوامل الحديد النباتية phytosidrofors ومنها حمض الميوجينيك Mugineic acid وحمض الأفينيك Avenic acid (شكل رقم ٢٤) وهي ترتبط بالحديد الثلاثي . لقد تبين أن النبات يقوم بامتصاص المركب الثلاثي إلى الحديد المخالب والحديد معاً ليتم إختزال الحديد الثلاثي الذي يستخدمه النبات . حيث تكون غالبية الحديد في التربة ليست بالصورة الميسرة لأن الحديد يميل إلى تكوين مركبات غير ذائبة ، مثل الأكسيد والهيدروكسيد .

وتعمل هذه المركبات العضوية على عدم ترسيب الحديد بعد إمتصاصه بواسطة النبات ، خاصة أنيونات الأحماض العضوية ، مثل السترات ، ولكن قد تسهم الأحماض الأمينية في ذلك أيضاً . ومن ناحية أخرى ، يعتقد البعض أن الحديد قد يترسب داخلًا في خلايا الأوراق على هيئة فوسفات الحديد العضوية ، لكن المعروف أن الحديد يكون معقدات الحديد البروتينية والتي تسمى الفيتوفريتين (الفريتين النباتي) Phytoferritin والتي تمثل مخزونًا للحديد لدخل البلاستيدات الخضراء لوقت الإحتياج إليها .



شكل رقم ٢٣ : الصيغة الكيميائية لحمضين من المركبات الكيميائية للمخاطبة تشير
الأسهم في حمض الميوجينيك إلى موقع ارتباط الحديد

Sources of iron in soil مصادر الحديد في التربة الزراعية

أن محتوى التربة الزراعية من عنصر الحديد يقارب ٥% من وزن
قشرة الأرض . والجزء الأكبر من حديد التربة يوجد في الصفائح البلورية
للمعادن الأولية . ومن أهم المعادن التي تحتوى على الحديد هي الأكاسيد مثل
Pyrite (FeS_2) Hematite (Fe_2O_3) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ والكبريتات مثل
Siderite (FeCO_3) والكبريتات مثل $\text{KFe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_4$ ومعادن الأولفين
والسليكات مثل Chamosite - glauconite و $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$. ربما يوجد الحديد أيضاً في صفائح المعادن الثانوية مثل
الأليست والكولنيت حيث أن محتوى المعادن الثانوية من الحديد يرجع إلى
عمليات التعرية التي تحدث على المعادن الأولية . ولأن الحديد الذائب في
محلول التربة الناتج من عمليات التعرية الأولية والثانوية يكون قليلاً جداً
(٢٢٧)

مقارناً بالحديد الكلى للتربة الزراعية . والسبب في إنخفاض حديد محلول للتربة الزراعية الجاهز للإمتصاص بواسطة النبات هو أن معظم مركبات الحديد المساندة في التربة الزراعية غير قابلة للذوبان في الماء ويضم الحديد المعدني الذائب في محلول التربة الزراعية الصور $Fe(OH)_3$ ، $FeOH^{+2}$ ، Fe^{+2} ، Fe^{+3} .

Plant requirements for iron احتياجات النبات لعنصر الحديد

وجد أن محتوى التربة الزراعية الكلى من عنصر الحديد يكون أكثر مما يحتاجه النبات وبصورة عامة أن أكثر المحاصيل الزراعية تحتاج إلى ٠,٠٥ جزء في المليون من عنصر الحديد على حين يتراوح مستوى الحديد الكلى إلى ٢٠,٠٠٠ جزء في المليون . وتختلف النباتات من حيث احتياجاتها لعنصر الحديد لهذا فإن التحليل النباتي يعد عاملاً مساعداً في وضع الخطة التسميدية المناسبة إذ عن طريقه يمكن معرفة مدى إحتياج النبات للعنصر الغذائي بالضبط . ولقد تم تحديد مستويات الحديد التي تسبب حالة النقص في النبات إضافة إلى المستويات المنخفضة والمعتلة والمرتفعة والمفرطة لأهم المحاصيل الزراعية مقاسة في الأنسجة النباتية بالجزء في المليون .

التحولات الميكروبية للحديد في التربة الزراعية :

Microbial transformations of iron compounds in soil

تشبه التفاعلات التي تحدث للحديد بيولوجياً في التربة الزراعية والمياه تلك التي تحدث في دورة للكبريت حيث يوجد تفاعلات أكسدة وتفاعلات إختزال ، كما يحدث عمليات معدنة لمركبات الحديد العضوية . ومن المعروف أن الحديد يوجد في التربة كمكون أساسي من مكونات

معاندها، وبالرغم من وجوده بكميات عالية نسبياً إلا أن أغلبه يكون في صورة غير ميسرة للنبات وكثيراً ما تظهر بعض الأراضي أعراض نقصه على النباتات . وتلعب التفاعلات الحيوية والكيميائية التي تقوم بها الميكروبات في تحولات الحديد في التربة الزراعية حيث يوجد في التربة مجموعة من الميكروبات الهامة والتي يطلق عليها اسم بكتيريا الحديد Iron bacteria تقوم بأكسدة مركبات الحديدوز Ferrous الذائبة إلى مركبات حديد Ferric غير الذائبة والتي غالباً ما تترسب بكميات كبيرة حول الخلايا في صورة هيدروكسيد حديديك Ferric hydroxide . كثيراً ما ميكروبات التربة الهيتروترافية Heterotrophs يمكنها أن تستخدم أملاح الحديد العضوية الذائبة والموجودة في التربة وتحولها إلى صورة معدنية أقل قابلية للذوبان في محلول التربة . كذلك تحدث بعض ميكروبات التربة الزراعية تغيرات كثيرة في جهد الأكسدة والإختزال Oxidation reduction potential في الوسيط الذي تعيش فيه . ويؤدي إنخفاض جهد التأكسد والإختزال الناتج عن نشاط هذه الميكروبات إلى تحول مركبات الحديد غير الذائبة إلى مركبات حديدوز ذائبة . كذلك يوجد كثير من أنواع البكتيريا والفطريات التي تنتج أثناء نموها وتحليلها للمواد العضوية ، نواتج حامضية للتأثير تؤدي إلى زيادة الحموضة في محيط نموها مما يساعد على ذوبان مركبات الحديد في التربة الزراعية . كذلك تؤدي الظروف اللاهوائية إلى تكوين كميات كبيرة من H_2S وهذا يؤدي بدوره إلى ترسيب مركبات الحديد في صورة Ferrous sulfide . هذا وقد يؤدي تكوين الأحماض العضوية في التربة الزراعية أثناء تحلل المواد العضوية إلى إتحادها كيمائياً مع أيونات الحديد الثنائية لتكوين Organic Iron complex والتي تكون أكثر قابلية للذوبان في محلول التربة الزراعية .

بكتيريا الحديد Iron bacteria

تحتوى التربة الزراعية على مجموعة متنوعة من الميكروبات والتي تكون قادرة على أكسدة مركبات الحديد ، وهذه المجموعة تتضمن ميكروبات ذاتية التغذية مؤكسدة للمواد الكيماوية Chemolithotrophs وميكروبات هيتروترروفية Organotrophs وميكروبات إختيارية Facultative lithotrophs .

وكان أول من عزل هذه الميكروبات ودرسها هو العالم Wingoradsky عام ١٨٨٨ حيث أمكنه عزلها من الينابيع المحتوية على حديد ، ووجد أن هذه الميكروبات ترسب الحديد في الغلاف المحيط بها في صورة هيدروكسيد حديديك مما يؤدي إلى ظهور اللون المميز لمركبات الحديد . ثم إتضح بعد ذلك أن البكتيريا القادرة على ترسيب الحديديك تكون واسعة الإنتشار في التربة الزراعية والمياه غير المحتوية على نسبة عالية من الحديد ، كذلك يمكن دراستها في مياه الشرب العادية المعاملة بالمواد المطهرة Treated water . وهذه الميكروبات تحتاج إلى وسط نمو يحتوى على قليل من المواد العضوية الذائبة وأكسجين ذائب وأملاح الحديدوز أو أملاح المنجنوز ، وبعض أنواعها يمكنها أن ترسب الحديد في مياه تحتوى على جزء في المليون فقط من الحديد الذائب . وقد تسبب بكتيريا الحديد إنسداد الأنابيب الحديدية التى تستخدم لتوصيل المياه وذلك نتيجة لترسيبها كميات كبيرة من هيدروكسيد الحديديك حول كمية قليلة من الخلايا الميكروبية. ويصحب نمو بكتيريا الحديد في الماء تكون لزوجة وتغير في اللون ويصبح طعم المياه غير مرغوب فيه . وقد تلجأ البكتيريا إلى حديد الأنابيب نفسها مما يؤدي إلى تآكل الأنابيب بمرور الوقت .

وأغلب أنواع بكتيريا الحديد تكون ذات شكل خيطى معظمها تكون محاطة بغلاف Sheath من هيدروكسيد الحديد أو المنجنيز . وهذه الميكروبات يصعب عزلها وزراعتها في الأوساط الغذائية المعملية . وهى ميكروبات هوائية حتماً Obligate aerobes لا تنمو في غياب الأكسجين وتفضل الأوساط المتعادلة أو المائلة للقلوية .

هذا وتتواجد بكتيريا الحديد غالباً في البيئات السطحية فهى بكتيريا هوائية توجد في البحيرات والبحار والجدول المائية والأنهار والأراضي الرطبة والتربة الزراعية . ويعتبر المصدر الرئيسى لبكتيريا الحديد غير معروف بالضبط ففى بعض الأحيان تتواجد في الماء الأرضى والماء السطحى أيضاً قد تتواجد به البكتيريا بصورة طبيعية وهناك دلائل مختلفة على أن بكتيريا الحديد تنتقل من مصدر مياه للمصادر الأخرى عن طريق المعدات التى تستخدم في عمليات الحفر وعمل القنوات . أيضاً فإن المياه الجوفية قد تتلوث ببكتيريا الحديد من المياه السطحية .

بكتيريا الحديد في التربة الزراعية Iron bacteria in soil

يؤدى تواجـد بكتيريا الحديد في التربة الزراعية إلى الإقلال من صلاحية عنصر الحديد للنبات فهى تقوم بتحويل الحديد من الصورة الذائبة (الحديدوز) والمتاحة للنبات إلى الصورة المترسبة وغير الممتصة بواسطة النبات (هيدروكسيد حديدك) وللتى تترسب حول أجسامها في راسب بنى اللون . لذلك فإن البكتيريا المحللة للمواد العضوية في التربة الزراعية أيضاً تلعب دوراً غير مباشراً في عدم إتاحة الحديد للميكروبات في التربة الزراعية حيث أنها تحوله من الصورة العضوية إلى الصورة المعدنية تقوم بكتيريا الحديد بأكسدة أملاحه وترسبه على أجسامها . ومن أنواع بكتيريا الحديد

الأوتوتروفية الحتمية بكتيريا *Thiobacillus* ، *Gallionella ferruginea* ، *Ferrobacillus ferrooxidans* ، *ferrooxidans* والتي تحصل على الطاقة اللازمة لها من عملية أكسدة الحديدوز إلى حديدك . وفي البكتيريا *Thiobacillus ferrooxidans* على سبيل المثال تتم عملية الأكسدة على الغشاء الميتوبلازمي ، وقد أمكن إثبات ذلك بإضافة مادة Triton x-100 إلى الخلايا الميكروبية حيث أنها مادة متخصصة في إذابة الغشاء الميتوبلازمي ، وقد وجد أن ذلك يؤدي إلى إيقاف عملية الأكسدة .

أما بكتيريا الحديد الأوتوتروفية الإختيارية Facultative autotrophic bacteria فمنها أنواع تابعة لأجناس *Liptothrix* ، *Sphaerotilus* ، وهذه الميكروبات تستطيع النمو على المواد العضوية في حالة عدم وجود كميات كافية من أملاح الحديد . وفي هذه الحالة فإنها لا تكون الغلاف المغطى للخلايا من هيدروكسيد الحديدك المميز باللون البني ويمكن أن يكون الغلاف عديم اللون . أما عند توفر أملاح الحديد في الوسط فإنها تكون غلafa بنيا من هيدروكسيد الحديدك $Fe(OH)_3$ يحيط بسلاسل الخلايا الطويلة . والبكتيريا التابعة لأجناس *Sphaerotilus* تكون خلايا سباحة Swarm cells عسوية متحركة بفلاجيل طرفية Polar أو قريبة من الطرف تترك الغلاف وتسمح في الماء حيث تنتقل إلى مكان جديد تتكاثر فيه مكونة سلاسل طويلة تحيط نفسها بأغلفة وهكذا .

أما بكتيريا الحديد الهيتروتروفية Iron heterotrophs فهي لابد لها من مواد عضوية لنموها ، وعملية أكسدة أملاح الحديد ليس لها أهمية في حصولها على الطاقة . ويجب أن نشير إلى أن هناك ميكروبات في التربة

الزراعية قادرة على أكسدة الحديد تحت الظروف اللاهوائية عن طريق إختزال النترات .

ويجب ملاحظة أن أكسدة الحديد يمكن أن تتم في التربة بطريقة غير بيولوجية خصوصاً في الظروف المائلة إلى القلوية ، لذلك فإنه عند إختبار قدرة ميكروبات التربة على أكسدة الحديد بيولوجياً لابد من أخذ الأكسدة الكيميائية في الإعتبار . وعلى ذلك يمكن أن تقاس قدرة ميكروبات التربة على أكسدة الحديد وذلك بإضافة أملاح الحديدوز إلى وسط غذائي أو رمل معقم ثم تلقيحه بمعلق تربة ثم يقرر للحديد المتكون . وفي نفس الوقت يجب أن توجد معاملة مقارنة Control غير ملقحة لبيان الأكسدة الكيميائية ونطرح قيمته من ناتج الأكسدة في المعاملة الأولى . ولقد أمكن عن طريق مثل هذه الدراسة إثبات أن الأكسدة البيولوجية أسرع كثيراً من الأكسدة الكيميائية .

وكما سبق أن أوضحنا أن أغلب بكتيريا الحديد تحصل على الطاقة اللازمة لها من عملية أكسدة الحديد ، ولكن الطاقة التي تحصل عليها من عملية الأكسدة قليلة ، لذلك لابد للميكروبات من أكسدة كمية كبيرة من أملاح الحديد للحصول على الطاقة اللازمة لها كالآتي :



ومن هذا التفاعل تبين أن الطاقة الناتجة تساوي 10 K cal لكل جرام ذرة من الحديد تتأكسد (٥٥,٨ جرام حديد) وهذه الطاقة قليلة . وهذا يعنى قيام هذه الميكروبات بترسيب كميات كبيرة من هيدروكسيد الحديد حول كمية قليلة من الخلايا . ولقد أوضح (Starkey, 1945) أن الميكروب يرسب

كميات كبيرة من الحديد حول جسمه تعادل وزنه ٥٠٠ مرة ، و يترسب
أيدروكسيد الحديدك حول الميكروب طبقاً للتفاعل التالي :



تأثير الميكروبات على مركبات الحديد العضوية

Effect of microorganisms on organic iron compounds

تقوم كثير من ميكروبات التربة للزراعية غير المتخصصة بدوراً هاماً في تغيير صور الحديد في التربة حيث تحلل الشق العضوى من مركبات الحديد العضوية ، وهذا يؤدي إلى ترسيب الحديد . ومثل هذه العملية لها تأثيرات كبيرة على جهازية الحديد للنباتات ، لأنها تقلل من الحديد الذائب في التربة . ويجب ملاحظة أن دور هذه الميكروبات في تغيير صور الحديد نورا غير مباشراً حيث يترسب الحديد من خلال إستهلاك هذه الميكروبات للجزء العضوى المرتبط بالحديد ، فينتقل الحديد من المركب العضوى ثم يترسب .

ويمكن توضيح مثل هذا التفاعل بإضافة جزء من التربة إلى محلول يحتوى على Ferric ammonium citrate فيلاحظ أن تحلل السترات بيولوجياً يؤدي إلى ترسيب كميات كبيرة من الحديد في صورة هيدروكسيد حديدك ، ومثل هذه التفاعلات تتم هوائياً ويمكن أن تحدث لأى ملح من أملاح الحديد العضوية .

والميكروبات التي تستطيع القيام بمثل هذا التفاعل تكون واسعة الانتشار في التربة للزراعية ومصادر المياه مثل مياه الآبار والبحيرات والأنهار وتتبع هذه الميكروبات أجساماً عديدة منها *Aerobacter* ،

العديد من الفطريات والكتينوميسيتات . *Corynebacterium* ، *Serratia* ، *Pseudomonas* ، *Bacillus* علاوة على

إختزال الحديد في التربة Iron reduction in soil

تكون أغلب كمية الحديد الموجودة في التربة جيدة للصرف ذات البناء الجيد في صورة حديدك غير ذائب ، وجزء ضئيل فقط يوجد في صورة حديدوز ذائب . وإذا أصبحت التربة مغمورة بالماء أو سادت فيها الظروف اللاهوائية فإن محتواها من الحديدوز يرتفع بسرعة ومثل هذا التغير يحدث نتيجة نشاط الميكروبات المحبة لتلك الظروف Anaerobic microbes وبسير الإرتفاع في الحديدوز في خط مواز للإنتخفاض الذي يحدث في جهد الأكسدة والإختزال (Eh) Redox potential الذي يحدث عادة نتيجة تحلل المواد العضوية تحت الظروف اللاهوائية . وقد لوحظ أن الحديدوز يصبح الأيون السائد في محلول التربة الزراعية عندما يصل قيمة جهد الأكسدة والإختزال إلى أقل من 200 m volt ، وعندما تتحسن ظروف التهوية بالتربة فإن الحديدوز يتحول إلى حديدك ثنائية بارترفاع الجهد عن 300 m volt فأعلى .

ولقد وضعت عدة تفسيرات لبيان كيفية إختزال الحديدك عند وجود مواد عضوية ومياد الظروف اللاهوائية في التربة ، منها أن استهلاك الأكسجين وإنتفاضه يؤدي إلى إختزال الحديدك . ومنها أن نواتج التخمر الميكروبي تؤثر تأثيراً مباشراً على إيدروكسيد الحديدك $Fe(OH)_3$. كما يفسر أيضاً على أساس أن الحديدك من الممكن أن يعمل كمستقبل للإلكترونات في حالة غياب الأكسجين أثناء للتنفس بطريقة مشابهة لإختزال النترات Nitrate reduction أو إطلاق الأزوت Denitrification .

والميكروبات التي تقوم باختزال الحديد في التربة الزراعية هي ميكروبات هتروتروفية لا هوائية اختيارية Facultative anerobic heterotrophs ، ولكن التفاعل لا يتم إلا في غياب الأكسجين . ولقد وجد أن التربة الزراعية تحتوي على 10^{-4} - 10^{-6} جرام من الميكروبات القادرة على اختزال الحديد مثل *Aerobacter* ، *B. circulans* ، *B. polymyxa* ، *Escherichia freundii* ، *aerogenes* . وبالرغم من أن الظروف اللاهوائية تزيد من الحديد الذائب في صورة حديدوز ، فإن المعروف أنه تحت الظروف اللاهوائية قد تؤدي إلى اختزال الكبريتات Sulfate reduction التي تكون H_2S بكميات كبيرة ، وهذا يتفاعل مع الحديدوز المتكون مما يؤدي إلى ترسيب الحديد في صورة Fe غير الذائب مما يقلل من جهازية الحديد للنباتات مرة أخرى .

وعملية السـ Gleying في التربة الغدقة أو المرتفعة في مستوى الماء الأرضي ترتبط بنشاط هذه الميكروبات على الحديد ، والأجزاء من مقطع التربة Profiles التي يحدث لها ظاهرة السـ Gleying تكون لزجة Sticky القوام ولونها رمادي أو رمادي مزرق Grey light ; grayish-blue . واللون المميز هذا يرتبط بمستوى الماء الأرضي المرتفع وفي التربة الغدقة من خلال تكوين Ferrous sulfide تحت الظروف اللاهوائية ، حيث يتم فيها اختزال كل من الحديد والكبريت فيتفاعل الحديد المختزل الذائب مع H_2S المتكون من اختزال الكبريتات ليكون FeS الذي يعطى الجزء الذي يحدث فيه العملية لونه المميز . ولقد أوضحت الدراسات أن أعداد بكتيريا الحديد في أفق السـ Gleying تصل إلى حوالي 10^7 / جرام .

وتحت الظروف اللاهوائية فإن أنابيب الحديد تتعرض للتآكل باستمرار بحيث تصبح بلا فائدة بعد سنوات قليلة ، ومثل هذه العملية تسبب خسائر ضخمة للمشروعات مثل مشروعات الكبيرة المياه الجوفية وأنابيب توصيل المياه والغاز أو أنابيب البترول وغيرها ، وهذه الخسائر تزداد مع زيادة رطوبة التربة . وعملية للتآكل الكيمولوية والبيولوجية لا تتم في التربة التي يزيد فيها Redox potential عن 400 m volt. وتصبح عالية عند جهد أقل من 400 m volt. ، وأتسب ظروف للتآكل هي غياب الأكسجين ويكون درجة pH أعلى من ٥,٥ ووجود نسبة عالية من الكبريتات علاوة على وجود المادة العضوية .

أسمدة الحديد Iron containing fertilizers

إن من أهم أسمدة الحديد المستخدمة في الزراعة هي :

١- كبريتات الحديدوز :

إن سماد كبريتات الحديدوز ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) هو أكثر أسمدة الحديد إنتشاراً واستعمالاً في خصوبة التربة وتغذية النباتات ودرجة ذوبانه أعلى من بقية الأسمدة الحديدية وأكثر جهازية لإمتصاص النبات له ويحتوى هذا السماد على ٢٠% حديد .

٢- أوكرالات الحديد :

يصنع هذا السماد ($\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) بتفاعل أملاح الحديد الذائبة مع حامض الأوكراليك ويحتوى هذا السماد على ٣٠% حديد ونصف هذه النسبة تكون ذات صفات مخيلية. وهذا السماد يكون قليل الذوبان في الماء ويكون

جاهزا وميسرا للنبات عن طريق إضافته إلى الجذور وبصورة عامة يستعمل هذا السماد عن طريق إضافته بالرش .

٣- كبريتات الحديدك :

ويكون سماد كبريتات الحديدك ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) أقل ذوبانا وجهازية من سماد كبريتات الحديدوز ويحتوى على ٢٨ % حديد

٤- سمدة الحديد المخلبية :

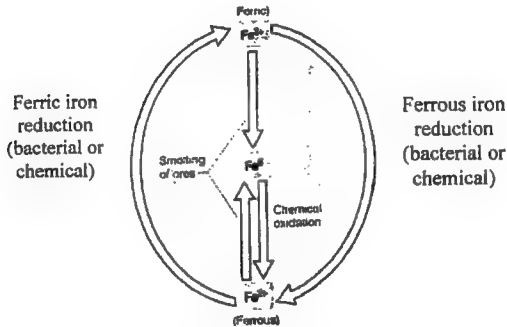
كلمة Chelate أى مخلب هى كلمة مشتقة من كلمة إغريقية هى Claw معناها مخلب فى الكيمياء العضوية وهى تعنى التركيب الحلقى الناتج من ارتباط أيون بمجموعتين أو أكثر من المجاميع الموزعة للإلكترونات لتكون جزئية واحدة . والعنصر الذى يخلب أو يرتبط بهذا التركيب الحلقى أى يترسب داخل التركيب الحلقى أى أنه يتحول إلى صورة غير جاهزة لإمتصاص النبات لها . إن معظم الكاتيونات المتعددة التكافؤ تستطيع أن تكون مواد مخلبية تختلف من حيث تحررها ولأن درجة للثبات والقدرة التبادلية للعناصر يمكن ترتيبها كالتالى $\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mn}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Fe}^{3+}$ إن المواد المخلبية يمكن أن تستعمل بعدة طرق لعلاج حالة النقص بالعناصر الغذائية ومنها طريقة الرش أو إضافته إلى التربة الزراعية مباشرة. وللمواد المخلبية أنواعا مختلفة بصفاتها الكيميائية والفيزيائية ومن هذه الأنواع المواد المخلبية المؤثرة على التربة الحامضية ، المواد المخلبية المؤثرة على التربة القلوية ، أو تلك المواد ذات التأثير على كل من نوعى الأرضى .

ويشمل الحديد العضوى إضافة إلى أسمدة الحديد المخيلية المصنعة مركبات حديد عضوية معقدة ذائبة لها دور مهم في إمداد النباتات بعنصر الحديد وهذه المركبات ربما يكون مصدرها المادة العضوية التى تفرزها جذور النباتات مثل مادة الـ Riboflavin المختزلة التى يفرزها نبات عباد الشمس أو مركبات ناتجة من المادة العضوية للتربة متحدة بالعناصر الغذائية مثل Fe^{2+} Polyphenols أو إتحاد العناصر بالأحماض الأليفاتية البسيطة وحامض الفوليك .

هذا ويمكن تلخيص ما سبق في أنه في حالة التربة المغمورة بالماء يحصل إختزال للحديد من Fe^{+3} إلى Fe^{+2} وهذا يؤدي إلى إلى صورة الحديد الأكثر جهازية لإمتصاص النبات له والأكثر نوباناً وقد تؤدي عملية الإختزال هذه عن طريق الكائنات الحية الدقيقة غير الهوائية إلى زيادة تركيز الحديد الذائب في محلول التربة إلى حد السمية للنبات . هذه الحالة تكون أكثر إنتشاراً في حقول الأرز وبصورة عامة يمكن القول أنه في التربة للرئية التهوية يزداد تركيز Fe^{+2} على حساب تركيز Fe^{+3} . وإن الأسمدة المخيلية والمركبات العضوية المحتوية على الحديد تحرر الحديد ببطء وتكون مهمة في تجهيز الحديد لجذور النبات . هذا إضافة إلى التحرير البطئ لعنصر الحديد من هذه المركبات والذي يقلل نسبة الحديد الذى يفقد عن طريق الترسيب أو عمليات الأكسدة داخل التربة للزراعة .

كذلك يعتبر إضافة أملاح الحديد المعدنية كثيراً ما تكون بدون تأثير في معالجة الإصفرار الناتج عن نقص الحديد بسبب تحولها السريع إلى لوكميدات غير ذائبة وحتى المعاملة بالرش في عدد من الحالات تكون نتائجها غير مرضية وناجحة دائماً لذلك ينصح في مثل هذه الحالة إضافة الأسمدة المخيلية المحتوية على الحديد إلى التربة مباشرة أو بالرش .

وإن استعمال الأسمدة الكيماوية غير المحتوية على الحديد قد تؤدي في بعض الحالات وبصورة غير مباشرة إلى التقليل من أعراض نقص الحديد مثال ذلك أسمدة النيتروجين المحتوية على الألمونيوم والأسمدة الأخرى المسببة للحموضة فهي تؤدي إلى زيادة جهازية الحديد نتيجة انخفاض درجة تفاعل التربة . كذلك الأسمدة العضوية قد تؤدي في بعض الأحيان إلى تقليل أعراض نقص الحديد نتيجة تكون مركبات معقدة من الحديد والمادة العضوية التي تحرر الحديد بدورها ببطء . ويبين شكل رقم ٢٤ التحولات الميكروبيولوجية لمركبات الحديد في التربة للزراعية



شكل رقم ٢٤ : التحولات الميكروبيولوجية لمركبات الحديد في التربة للزراعية

الفصل التاسع :

إنتاج البيوجاز

Production of Biogas

الفصل التاسع

إنتاج البيوجاز

Production of Biogas

تنتج الغازات بواسطة الكائنات الحية الدقيقة Microorganisms أثناء نشاطها وتحليلها للمواد العضوية . ويعتبر البيوجاز الناتج عن الميكروبات إحدى الوسائل الممكنة إستعمالها كبديل لمصادر الطاقة التقليدية خاصة في المناطق الريفية والمناطق النائية التي يصعب توفير البترول لها . وقد أمكن الحصول على غازات قابلة للاشتعال نتيجة لتنمية الميكروبات اللاهوائية Anaerobic microorganisms على المخلفات البرازية للإنسان والحيوان ، وهي عملية إقتصادية بدرجة كبيرة حيث أن المادة الخام لا ثمن لها بل أن التخلص منها يعتبر ضروريا لحماية البيئة.

ولقد بدأ الإهتمام بإنتاج الغازات بواسطة الميكروبات منذ زمن بعيد يزيد على المائتي عام ، ثم زاد الإهتمام بهذه التكنولوجيا في بلاد العالم المتطوره والناميه منذ نهاية الحرب العالميه الثانية World War II وما صادفه العالم من أزمات في الطاقة Energy crises وزيادة في الطلب على الأسمدة المعدنية التي ارتفع ثمنها بشكل كبير. ويوجد الآن آلاف الوحدات العامله لإنتاج هذه الغازات في بلاد عديدة في أوروبا مثل ألمانيا والنمسا وإيطاليا وفي آسيا مثل الهند والصين وأفغانستان وفي أفريقيا مثل أوغندا وكينيا ومن البلاد العربيه جمهورية مصر العربيه . وبالنسبة لمصر فقد أنشئ أول مخمر لإنتاج الغازات ميكروبياً عام ١٩٣٩م في مزرعة الجبل الأصفر بإستعمال مخلفات المجارى ، ثم توالى الدراسات منذ الخمسينيات (٢٤١)

وبنى أول مخمر على الطراز الصيني (تحت الأرض) سنة ١٩٥٠م عام ١٩٧٨م بكلية الزراعة جامعة القاهرة فرع الفيوم ، وحتى عام ١٩٨٤م كان قد تم إنشاء أكثر من ٤٠ مخمر تعمل في قرى مصر المختلفة .

المواد القابلة للتخمير لإنتاج البيوجاز Digestable Feedstocks

يمكن إستعمال جميع المخلفات العضوية فى إنتاج الغازات بواسطة الميكروبات ، غير أن أفضل هذه المخلفات من حيث سرعة التخمير هى مخلفات المجارى ، يلي ذلك المخلفات الحيوانية ثم المخلفات النباتية ومخلفات التصنيع ومخلفات المنازل . كل هذه المواد تعتبر Feedstocks فى عملية التخمير Digestion لإنتاج البيوجاز Biogas production .

ولما كانت عملية التخمير هذه تتم بواسطة البكتريا كان من المهم أن يحتوى وسط التخمير على ما يلزم للميكروبات من مصادر الطاقة ، للكربون، النيتروجين لعمليات البناء الخلوى Cell synthesis ، فضلا عن المتطلبات الأخرى من معادن لزوم الأيض البكتيرى . ومما يذكر أن المخلفات البرازيه Faecal wastes ، على سبيل المثال تكون غنية جدا بمحتواها النيتروجينى ، على حين تكون مخلفات بعض المصانع Factory wastes مثل النشا أو المحاليل السكرية فقيرة جدا فى محتواها النيتروجينى . لذلك فإن نسبة الكربون إلى النيتروجين C : N ratio تضبط فى الحاله الأولى عن طريق إضافة مصدر كربون Carbon source مثل البطاطس أو القش Straw حيث يكون توافر هذا المواد موسميا Seasonally . ولقد وجد أنه بالنسبة للقش الشعير Barley straw على سبيل المثال يكون تحلله غير كامل فى مخلفات الخنازير Pig wastes ويكون بطيء التحلل فى مخمر Digester يعمل بفترة تسوية Detention time قدرها ١٠ أيام . وعندما تزداد الفترة

إلى ٢٠ يوم فإن حوالي ٣٥ % من اللقش يتم تخميرها Digested إلى غاز . ومن المعروف أن قش الشعير يحتوي على حوالي ٧٦ % مواد كربوهيدراتية وألياف ، ومن ثم فإن ٥٠ % فقط من المادة الكامنة تتحول إلى غاز Gassified (جدول رقم ٢٥ و ٢٦) ومن هذه الجداول نلاحظ أن المغذيات القابلة للتخمير Digestible nutrients للمجترات Ruminants تكون في حدود ٤١% . وتوضح النتائج بالجدولين أهمية نسبة الـ C : N ، ومن المعروف أن إخراجات الخنزير Pig excreta تحتوي على نسبة عالية من الأمونيا تظل معدلها ثابت أثناء عملية التخمير ومن ثم فإن إضافة مادة كربوهيدراتية (كربونية) بقصد موازنة نسبة الـ C : N تكون في صالح عملية إنتاج الغاز وبالطبع فإن عملية التخمير تزداد صعوبة وتأخذ وقتاً أطول كلما زادت نسبة اللجنين بالمخلفات المضافة (كما في حالة حطب القطن).

نواتج التخمير Fermentation products

نتيجة لتخمير المواد العضوية بواسطة الميكروبات تحت الظروف اللاهوائية ، فإنه ينتج خليط من غازات الميثان CH_4 للقابل للاشتعال . وثاني أكسيد الكربون CO_2 غير اللقابل للاشتعال ، بالإضافة إلى غازات أخرى مثل الأيدروجين وكبريتيد الأيدروجين والنيتروجين وثاني أكسيد الكربون وأول أكسيد الكربون (جدول رقم ٢٧) تكون في مجموعها أقل من ٥٠ % من كمية الغاز الناتج وبالإضافة إلى تلك الغازات تنتج عدة أحماض عضوية مثل حمض الخليك Acetic acid أعلى نسبة فيها . وتتوقف نسبة الغازات الناتجة على الظروف المحيطة بالإنتاج ، ومن بينها طبيعة المخلفات Feedstocks وحرارة ومدة التخمير Detention time .

Table 25 : Gas Production from animal excreta

1- Piggery waste: Slurry from fattening pigs on dry barley feed .	
Detention time 10 -- 15 days .	Gas 0.300 m ³ Kg ⁻¹ TS
7 days	0.284
5 days	0.240
3 days	0.170
Below 25°C and above 45°C gas production falls off rapidly .	
Total solids in slurry 2-6.5 per cent .	
2- Poultry waste . from caged layers, no letter, slurried with water to required TS.	
Detention time 20 days .	Gas 0.380 m ³ kg ⁻¹ TS
15 days	0.362
At 4% TS slurry, gas 0.480 m ³ kg ⁻¹ .TS 6%	
Gas 0.3789 m ³ , 12% gas 0.291m ³ .probably due to NH ₃ inhibition at higher TS.	
3- Fattening cattle waste, Slurry from cattle on variety of mixed feeds .	
Detention time 20 days .	Gas 0.215 m ³ kg ⁻¹ TS
10 days	0.141
At 5 percent TS slurry , gas 0.189 m ³ kg ⁻¹ .	
TS, 8 percent , gas 0.258 m ³	
10 percent, gas 0.264 m ³ .Possibly due to low NH ₃ in Slurry of low TS	
4- Dairy cattle waste . Slurry from cows on silage – concentrate feed .	
Detention time 21 days .	Gas 0.206 m ³ kg ⁻¹ TS at 35°C.
20 days	0.172 m ³ kg ⁻¹ TS at 25°C.

Table 26 : Biogas Production from some Vegetable wastes

Substrate	Gas (m ³ kg ⁻¹ TS)	Methane(%)
Grass hay	0.462	54
Kale	0.440	60
Sugar beet leaves	0.380	66
Maize	0.500	65
Oats	0.470	54
Wheat straw	0.412	58
Lake weed	0.380	56

Slurry 5 percent TS, temp. 37°C, total reaction time 17-36 days.

جدول رقم ٢٧ : أهم الغازات الناتجة من التخمر ونسبتها

النسبة (%)	الغاز
70 - 50	CH ₄
45 - 30	CO ₂
5 - 1	N ₂
1 - 0	SO ₂
1 - 0	H ₂ S

وغاز الميثان CH₄ غاز قابل للاشتعال ووجوده مع غاز CO₂ غير القابل للاشتعال يعتبر عاملاً هاماً لتعديل درجة اشتعاله ، ولقد وجد أنه عند درجة صفر °م وتحت الضغط الجوي العادي فإن الحرارة الناتجة من لتر واحد من الميثان تساوي ٨,٥ كالورى ، وهى حرارة عالية إذا ما قورنت بغاز الأيدروجين الذى ينتج للتر منه تحت نفس الظروف ٢,٦ كالورى فقط . ومن هنا يتضح لنا الأهمية الاقتصادية لإستعمال غاز الميثان كمصدر للطاقة.

ونظراً لأن غاز الميثان Biogas هو المستهدف من الإنتاج البيولوجي (حيث ينتج كإحدى الوسائل الممكن إستعمالها كبديل لمصادر الطاقة للتقليدية في بعض المناطق الخاصة) فيطلق على عملية إنتاجه الأسماء الآتية : Biomethane Biomethanation , Methanogenesis. production ,

طاقة الميثان Energy of Methane

عند حرق غاز الميثان مع الأكسجين يحدث التفاعل التالي :



وبذلك تنطلق الطاقة في صورة حراره وذلك من كمية الطاقة الزائدة عن التغير في الروابط الكيميائية بالوقود المؤكسد $\text{CH}_4 + \text{O}_2$ إلى غاز وماء $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ علماً بأن الطاقة الكلية في النواتج تكون أقل من تلك الموجوده بالوقود قبل الاحتراق $\text{CH}_4 + \text{O}_2$ حيث أن جزء من هذه الطاقة ينطلق كحرارة وضوء داخل اللهب ذاته . وإذا قورنت كمية الحراره الناتجه من الميثان بكمية الحراره في الغاز الطبيعي المستخرج من باطن الارض مع البترول والنفط فإننا نجد الآتي :

الغاز الطبيعي ← يعطى 10.000 كيلوكالورى / م³ .

غاز الميثان ← يعطى 8.000 كيلوكالورى / م³ .

أى أن كمية الحراره الناتجه من غاز الميثان تقارب تلك الناتجه من الغاز الطبيعي كما أننا نلاحظ الآتي :

١ كيلو جرام وزن جاف من الماده العضويه $\xrightarrow[\text{أكسجين}]{\text{الحرق}}$ 4500 كيلو كالورى بالتخمير

١ كيلو جرام وزن جاف من المادة العضوية ← 4000 كيلو كالورى
 ← 0.5 م² بيوجاز لا هوائيا

فعلى الرغم من أن كمية الحرارة المنتجة بالتخمير اللاهوائى من وحدة الوزن الجاف مادة عضوية أقل من 4000 كيلو كالورى من تلك الناتجة بالحرق 4500 كيلو كالورى إلا أن ما يتبقى من بقايا للتخمير من سوائل ومخلفات صلبه ذات أهميه كبيره حيث تستعمل كاسمده عضويه عاليه للقيمة والفائدة .

الأهميه الإقتصاديـه للبيوجاز Economic importance of biogas

يستعمل الغاز الناتج فى أغراض عديده منها :

١. التدفئة والإتارء والطهى وتوليد الكهرباءالخ أى يستخدم كبديل لمصادر الطاقه التقليديه .

٢. إنتاج البروتين الميكروبى (SCP) Single cell protein وذلك بإستعمال الغاز لتتـميه بعض البكتيريا مثل *Pseudomonas methanitrificans* ، ومعروف أن هذا الميكروب يستعمل للميثان كمصدر وحيد للكربون Sole source of carbon ، كما أنه يقوم بتثبيت نيتروجين الهواء الجوى. ولقد وجد أنه عند تخمير 1 طن من زرق الدجاج تحت ظروف لاهوائيه وإمرار الغازات الناتجة فى بيئة خالية من الكربون والنيتروجين وملقحة بالميكروب السابق ومحضنة على درجة 30°م لمدة أسبوعين أنه نتج 28,17 كيلو جرام من الخلايا البكتيرية Biomass الجافة التى تحتوى على 15,85 كيلو جرام بروتين خام.

٣. علاوه على الإستعمالات السابقة فإن من فوائد عملية تخمير المخلفات بهذه الطريقه هو إستعمال النواتج الأخرى لعملية التخمير Digested slurry (٢٤٧)

وهي مخلفات لنواتج صلبه Sludge تستعمل كسماد عضوى للأراضى إذ أنها بحق سماد غنى بالعناصر NPK ومعظم المغذيات العنصرية الصغرى . مخلفات أو نواتج سائله Effluent تستعمل فى رى المزروعات وتسميدها كما يمكن إستعمالها فى تنمية الطحالب الخضراء عليها مثل طحلب *Chlorella ellipsoidea* الذى يستعمل وينتج لتغذية الأسماك أو كمصدر جيد للبروتين فى العلائق الحيوانية أو فى إنتاج البيوجاز مرة أخرى . كذلك للتخلص من المخلفات الأدمية والحيوانية خاصة فى الريف مثل القرى والنجوع مما يؤدى إلى رفع المستوى الصحى بالتخلص من التلوث الميكروبى والحد من إنتشار الذباب والبعوض وبالتالي الإقلال من إنتشار الأمراض . هذا علاوة على توفير غاز قابل للإشتعال فى الريف بديلاً للأحطاب والمخلفات النباتية التى يمكن إستخدامها كسماد عضوى .

ومن الجدير بالذكر أن النواتج الصلبة Sludge الناتجة عن عملية للتخمير قيمتها كسماد تفوق قيمة السماد العضوى المصنع بالطرق التقليدية حيث أن الفقد فى المادة العضوية والنتروجين يقل بدرجة ملحوظة (جدول رقم ٢٨) فى حالة المنتج التخميرى مما يزيد من قيمته كسماد .

جدول رقم ٢٨ : مقارنة السماد الناتج من العملية التخمرية بسماد عضوى ناتج بالعملية التقليدية على أساس الكمية فى الحالتين هى ١٠٠٠ كيلو جرام مخلفات أبقار Cow dung ($N_2 = 0.25\%$).

طريقة الإنتاج		الخاصية
عن مخمر غازى	طريقه تقليدية	
270 كيلو جرام	500 كيلو جرام	- مقدار الفقد (بالتحليل) فى اللامه العضويه
صفر	1.25 كيلو جرام	- مقدار الفقد (بالتحليل) فى النيتروجين
1.5 %	1.00 %	- النسبة المئوية للنيتروجين فى المنتج النهائى
2000 قدم مكعب	صفر	على أساس الوزن الجاف
		- كمية الغاز الناتجه

هذا فضلاً عن ن عملية الهضم أو للتخمير الغازى Digestion تقلل كثيراً من تعداد الميكروبات الممرضة Pathogenic microorganisms وبذور الحشائش فى المخلفات الأصلية Original excreta . أيضاً فإن جميع المواد البرازيه الحيوانيه بكميات ضخمة كاسلوب تجميعى تقليدى ومايعقبه من روائح فى الجو القريب منها يعد أمراً مقلقاً للصحة العامه.

الكائنات الممرضة بالمخلفات Pathogenic microorganisms in wastes
تقع الكائنات الممرضة التى توجد بالمخلفات البرازية الأمية أو الحيوانيه فى أربعة مجاميع رئيسية هى:

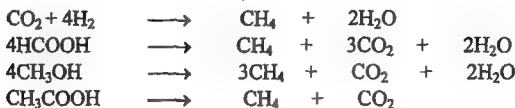
- 1.- Viruses , e.g . , *Poliomyelitis* , *Hepatitis* ,
- 2.- Bacteria , e.g . , *Salmonellae* , *Shigellae* ,
Escherichia coli , *Mycobacterium tuaberculosis* , *Leptospira*
- 3.- Protozoa , e.g . , *amoebic dysentery*
- 4.- Helminths , e.g . , round , pin , tape hook worms .

وفى عملية تخمير هذه المخلفات عند درجة ٣٥°م لمدة اسبوعين لإنتاج الغاز ، فإن نسبة كبيرة قد تصل إلى أكثر من ٩٠% من هذه الكائنات الممرضة يموت ، خاصة الميكروبات المعوية الممرضة ، غير أنه لوحظ أن بعض الكائنات الممرضة خاصة بويضات ديدان الإسكارس Round worms تعتبر شديدة المقاومة وتبقى حية بعد عملية التخمير . وفى هذه الظروف فإنه ينصح قبل وضع المخلفات بالهاضم لإنتاج البيوجاز ، بعمل Precomposting تحت ظروف لاهوائية لمدة ٣ - ٤ أيام لهذه المخلفات للتخلص مما بها من كائنات ممرضة .

تكوين غاز الميثان بيولوجيا Methanogenesis

تم عملية إنتاج غاز الميثان بيولوجيا من المخلفات العضوية نتيجة لتعايش مجموعة كبيرة من الميكروبات منها غير المكون للميثان Non - Methanogenic وكذا المختص بتكوين الميثان Methanogenic . فالميثان هو أكثر صور المركبات العضوية اختزالا ، وتكوينه يعتبر الخطوط النهائية فى السلسلة الغذائية Food chain للكائنات الدقيقة المخمرة Fermentative Microorganisms . وتبدأ الخطوات الأولى من تحلل المخلفات العضوية هوائيا ، ثم باستمرار عملية التحلل يقل الأكسجين تدريجيا حتى تسود فى النهاية الظروف اللاهوائية التى تتناسب تكوين غاز الميثان . وبذلك فإن دور الفطريات فى هذه العمليات محدودا جدا لظروف للتخمر اللاهوائية غير المناسبة لها. ومن الجدير بالذكر أيضا أن بكتيريات الميثان Methane bacteria لا يمكنها أن تستعمل المركبات العضوية المعقدة Complex organic compounds . فهى تنمو على مواد مثل:



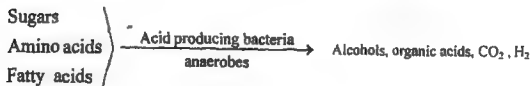
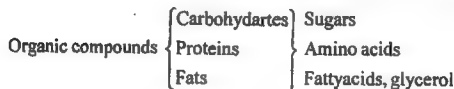


لكن أهم المواد التي تعتمد عليها هذه البكتريات في طبيعته هي CO_2 و H_2 والخلات Acetate . وعلى ذلك يمكن تلخيص عملية تحلل المواد العضوية والتكوين البيولوجي للميثان في المراحل الآتية :

١. المرحلة الأولى : وقد تسمى مرحلة تكوين الأحماض Acid forming stage

وفيها تنشط البكتريا للمترمة العضوية والكروية مثل :

، *Ruminococcus* ، *B. megaterium* ، *Bacillus cereus* ، *Clostridium* ، *Bacteroides* وتحلل المواد العضوية العقدة إلى مواد أبسط منها ، لتنتج في النهاية : أحماضاً عضوية دهنية قصيرة السلسلة مثل : الفورميك ، الخليك ، البروبيونيك ، البيوتريك ، اللاكتيك وكحولات بسيطة مثل : الميثانول ، الإيثانول ، البروبانول ، الأيسوبروبانول ، للبنتانول كذلك ينتج غازات مثل (H_2S , NH_3 , H_2 , CO_2) أي أن:



٢. المرحلة الثانية : وهي مرحلتى تكوين حمض الخليك والأينروجين



وبذلك يكون قد توافر في وسط النمو الـ H_2 ، CO_2 ، Formate ، Acetate ، Methanol تفصل بذلك إلى المرحلة الثالثة وهي تكوين الميثان.

٣. المرحلة الثالثة: وهي تكوين الميثان من CO_2 ، H_2 الفورمات، الميثانول ، الخلات كما يلي:

أ- تكون الميثان من $\text{CO}_2 + \text{H}_2$:

كل البكتيريا المنتجة للميثان Methanogenic bacteria التي عزلت حتى اليوم يمكنها أن تنمو معتمدة على $\text{CO}_2 + \text{H}_2$ ولقد درست التفاعلات الخاصة بتكوين الميثان باستخدام الأنواع *ruminantium* ، *M. thermoautotrophicum* ، *Methanobacterium* ، *Methanobacterium* . ويسمى باختزال CO_2 إلى CH_4 خطوة خطوة لكن المركبات الوسيطة Intermediates وهي الفورمات ، الفورمالدهيد ، والميثانول تظل مرتبطه بشده على حوامل Carriers لا تزال لليوم المعرفة بها غير كاملة . ولقد اكتشف حديثاً أحد هذه الحوامل أى العوامل المساعدة بواسطة وولف Wolfe ومساعدوه والعامل اللسمى المكتشف هو Coenzyme M وهو 2-mercaptoethane sulfonic acid حيث

Coenzyme M : $\text{HS} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{SO}_3\text{H}$ وايضاً

Methylcoenzyme M : $\text{CH}_3 - \text{S} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{SO}_3\text{H}$

ويعتقد أن Methylcoenzyme M هو المنشئ Precursor

المباشر للميثان ، وفضلاً عن ذلك فإن المركب Methylcobalamin يصلح أيضاً كوسيط .

ب- تكون الميثان من الفورمات:

تعتبر الفورمات Good substrate لكثير من البكتريا المكونة للميثان، وهى تتحول أولاً إلى $\text{CO}_2 + \text{H}_2$ ومن ثم فهى ليست منشئ مباشر Direct precursor للميثان كما يلى :



Sum



→ - تكون الميثان من الميثانول :

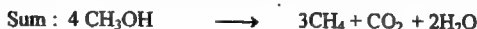
يعتبر الميثانول Good substrate للميكروب *Methanosarcina barkeri*، وهى تعد مادة منشأة Direct precursor بطريقة مباشرة للميثان. ويحتوى هذا الميكروب على نظام إنزيمى يمكنه من تحويل الـ

methanol + hydridocobalamin إلى B_{12} - methyl والآخر ينشأ عنه تكون الميثان . كما يلى :



والقوة الإختزالية Reducing power اللازمة لتكوين الميثان من $\text{CH}_3\text{-B}_{12}$ عن طريق $\text{CH}_3\text{-COM}$ تنشط بأكسدة الميثانول إلى CO_2 ويكون محصلة Stoichiometry هذه العملية التخمرية كما يلى :





وأكسدة الميثانول إلى CO_2 تعبير عن طريق (Methy - H_4 folate) (Methyltetrahydrofolate) ، (Methylene - H_4 folate) ، (Methenyl - H_4 folate) و (Formyl - H_4 folate) ومن المركب الأخير تتكون الفورمات بواسطة Synthetase formyl - H_4 folate كما يلي :



ومن ثم ، فإنه أثناء أكسدة الميثانول 'Methanol oxidation' تتكون جزيئات ATP بالميكانيكية المعروفة باسم Substrate level phosphorylation والخطوة النهائية في الأكسدة تنشط Catalyzed بواسطة Formate dehydrogenase الذي ينقل الأيدروجين إلى العامل المساعد (F_{420}) كما يلي :



د- تكون الميثان من الخلايا :

تعتبر الخلايا أهم مادة يتكون منها الميثان Methanogenic في رواسب البحيرات Lake Sediments . فهي تخمر بوساطة *Methanosarcina barkeri* ، *Methanospirillum hungatii* وبكثريات أخرى من مكونات الميثان إلى ميثان + CO_2 كما يلي:-



ويعتقد أن CO_2 ينشأ عن مجموعة الكربوكسيل ، ولكن ميكانيكية هذه العملية التخمرية لا يزال يكتنفها الغموض .

ومن الجدير بالذكر هنا أنه يفرض إستخدام ١٠٠ وحدة كربون للتخمير اللاهوائى بواسطة بكتريا الميثان Methanogenic bacteria فى المتوسط يتحول ٥٠ % من الكربون إلى بيوجاز ، ٥ % من الكربون يثبت ويمثل بأجسام الميكروبات (البكتريا) القائمة بالتخمير ، ٥ % تقريباً من الكربون تبقى بمخلفات بقايا العملية التخمرية .

وبالمقارنة بعملیات التخمر الهوائية Aerobic fermentations نلاحظ أن كمية الكربون التى تمثل (تثبت) فى أجسام البكتريا وهى فى حدود ٥ % تعتبر نسبة قليلة إذا ما قورنت بما يحدث فى عمليات التخمر الهوائى حيث أنه فى تلك الحالة تقوم الميكروبات الهوائية بتمثيل ونشيت حوالى ٤٠ % من كربون المادة العضوية فى أجسامها .

البكتيريا المنتجة للبيوجاز : Biogas producing bacteria

ينتج غاز الميثان بواسطة بكتيريا عديدة يطلق عليها المسميات:

Methanogenic bacteria ، Methane formers ، Methanogens

وهى ذات أشكال مورفولوجية وتراكيب مختلفة . وبسبب درجة التخصص العالية فى مصادر حصولها على الطاقة ، إحتياجها إلى ظروف لاهوائيه حتماً Very strict anaerobic conditions لكى تنمو بل ونعرضها للموت بسرعة على أثر فترات ضئيلة جداً من التهويه مقارنة بغيرها من اللاهوائيات يجعل فرصة عزلها بغير المختصين فى البحث عنها تكون قليلة جداً . وعلى أية حال فبكتريا الميثان Methane bacteria لها صفات مزرعية وفسيولوجية متشابهة ، ولقد ثبت أنها تحتوى على مركب فلوريسنتى Fluorescent compound يرمز له بـ F₄₂₀ يعمل حامل

للأيدروجين Hydrogen carrier وهذا المركب الفلوريسنتى لم يوجد قط فى أى كائنات دقيقة أخرى ، ويسبب خاصية الوميض فيه Strong fluorescence فإن بكتيريا الميثان يسهل التعرف عليها وتميزها فى ميكروسكوب الوميض Fluorescence microscope .

ورغم أن بكتيريا الميثان تعد بروكاريوتات Procaryotes إلا أنها تختلف فى منشئها وتطورها الوراثى أى أنها phylogenetically different عن البكتيريا القياسية أو غالبية البروكاريوتات وكذلك عن الكائنات الأليوكاريوتية Eucaryotes لدرجة أنه فى آخر وأحدث تقسيم للبكتيريا خصص لها قسم خاص بإسم Archaeobacteria يضم عدد ١١ إحدى عشرة جنسا كما يلى :

- | | |
|------------------------------------|--------------------------------|
| 1. Genus <i>Methanococcus</i> | 7. Genus <i>Methanothermus</i> |
| 2. Genus <i>Methanobrevibacter</i> | 8. Genus <i>Methanolobus</i> |
| 3. Genus <i>Methanomicrobium</i> | 9. Genus <i>Methanoplanus</i> |
| 4. Genus <i>Methonspirillum</i> | 10. Genus <i>Methanogenium</i> |
| 5. Genus <i>Methan osarcina</i> | 11. Genus <i>Methanotherix</i> |
| 6. Genus <i>Methanococcoides</i> | |

هذا علاوة على بعض الأجناس الأخرى التى ليست مكونة للميثان ولكن تشترك مع بكتيريا الميثان فى خصائص أخرى أهلتها لأن يطلق عليها إسم Archaeobacteria وهى البروكاريوتات التى تقدر لوجود الببتيدو جليكان فى جدرها الخلوية والمحتوية على فوسفوليبيدات Phospholipids بروابط أثيريه Ether bonds بدلا من الروابط الأسترية Ester bonds

العادية ، هذا علاوة على خصائص أخرى تميز هذه المجموعة من البروكاريونات عن غيرها .

ويجدر أن نشير إلى أن الطبعة الثامنة من كتيب برجي لتمييز البكتيريا التي صدرت عام ١٩٧٤م كانت قد خصصت جزء هو Part 13 مستقلاً تحت مسمى Methan producing bacteria لها حيث وضعت ونوقشت كل البكتيريا المكونة للميثان في عائله واحدة هي . Fam. Methanobacteriaceae شملت وقتها ثلاثة أجناس فقط أحدهما خصص للأشكال العصوية rods هو جنس *Methanobacterium* والثاني للكرويات أى المكورات المفردة أو ذات التجمعات غير المنتظمة وهو *Methanococcus* والثالث للمكورات التي تتجمع في مكعبات Packets وهو *Methanosarcina* . ولكن في عام ١٩٧٩م قام Balch وآخرين بنشر اقتراح تقسيم جديد للبكتيريات المنتجة للميثان (جدول رقم ٢٩) . ثم بعد ذلك وفي عام ١٩٨٤م ظهر التقسيم للحديث للبكتيريات (الطبعة التاسعة من كتيب برجي) والذي أفرد لها فصلاً خاصاً تحت مسمى Archaeobacteria .

Table 29 : Taxonomy of Methanogenic bacteria*

ORDER	FAMILY	GENUS	SPECIES
Methanobacteriales	Methanobacteriaceae	<u>Methanobacterium</u>	<u>M. formicivm</u>
			<u>M. bryanii</u>
			<u>M. thermoautotrophicum</u>
		<u>Methanobrevibacter</u>	<u>M. ruminantium</u>
			<u>M. arborophilus</u>
			<u>M. mithii</u>
Methanococcales	Methanococcaceae	<u>Methanococcus</u>	<u>M. vannielii</u>
			<u>M. voltae</u>
Methanomicrobiales	Methanomicrobiaceae	<u>Methanomicrobium</u>	<u>M. mobile</u>
		<u>Methanoxenium</u>	<u>M. cariaci</u>
			<u>M. marisnigri</u>
		<u>Methanospirillum</u>	<u>M. hungatei</u>
	Methanosarcinaceae	<u>Methanosarcina</u>	<u>M. barkeri</u>
		<u>Methanotherix</u>	<u>M. soehngenii</u>

(*) Baich, W.E.; Fox, G.E; Magrm, L.J.woese, C.R. & Wolfe,(1979).

Methanogenic revolution of a unique biological group.
Microbiol. Rev.43,260-296.

العوامل المؤثرة على إنتاج البيوجاز :

Factors affecting biogas production

هي ذاتها العوامل التي تؤثر على نشاط الميكروبات المنتجة للغاز ومن بين تلك العوامل ما يلي :

١. درجة الحرارة: أغلب الميكروبات المنتجة للبيوجاز محبة للحرارة المتوسطة أى Mesophilic وعلى ذلك فإن درجة الحرارة المناسبة للإنتاج هي حوالي ٣٠°م .
٢. درجة الحموضة : ينتج الميثان نتيجة لتعاقب النشاط الميكروبي على المخلفات العضوية ، وفي مرحلة وسطية من التخمير يزداد تراكم الأحماض العضوية وبذلك يصبح الوسط حامضى غير مناسب لبكتريات الميثان ، وقد تشمل عملية إنتاج الغاز لهذا السبب . لذلك فإن عملية توازن مناسبة لتطور الحموضة بالوسط أثناء التخمير (بإضافة الجير أن لزم الأمر مثلا) تساعد على زيادة كفاءه العملية إذ يناسب بكتيريات الميثان الوسط المتعادل أو القريب منه (٦.٨-٧.٢ pH).
٣. تراكم الأيدروجين: يتكون H_2 أثناء تخمر المخلفات ، ويدخل فى عملية التخمير وتكوين الميثان ، غير أن تراكمه ضار جداً بالعملية حيث يؤدي إلى تكوين كحولات (أو أحماض) وبذلك يقل إنتاج الميثان ، لذا يجرى إختبار دورى أثناء التخمير لمعالجة الموقف فور حدوث تراكم للأيدروجين.
٤. تراكم كبريتيد الأيدروجين: تراكم H_2S بالمخمر وزيادته عن 200 p.p.m يكون ضار بعملية تكوين غاز الميثان ، لذا يحول إلى أملاح كبريتيد . ويعود التأثير الضار لغاز H_2S على عملية تكوين غاز الميثان ، إلا أن له تأثير سام على البكتريات المنتجة لغاز الميثان كما أنه يرسب العناصر (٢٥٩)

النادرة مثل الحديد ، النيكل ، الكوبالت ، المولبدنوم ، وبذلك يحد من إستفادة بكتيريات الميثان من هذه العناصر .

٥. غواب الأكسجين : كما ذكر سابقاً ، فإن بكتيريات إنتاج الميثان لاهوائياً حتماً ، وهى حساسة لوجود أقل آثار من غاز الأكسجين حيث تقتلها فوراً. لذلك يلزم توفير وسط خال من الأكسجين فى مرحلة معينه (O_2 - Free phase).

٦. التسمم الأمونيومى (Ammonia toxicity) : تتراكم الأمونيا بالهاضم Digester نتيجة لعملية التخمر ، فإذا ما زاد تركيزها عن 2000 ppm فإن هذا يثبط عمل بكتيريات الميثان . ويقلل التأثير التسممى للأمونيا بالتحميل المناسب للهاضم والتخفيف المرغوب للخليط وتقصير زمن التخمر .

٧. التحميل (Loading): مدى ملأ الهاضم بالمخلفات يؤثر على إنتاج الغاز ويتحكم فى عملية الملاءسة الهاضم ودرجة تخفيف الخليط بالماء وحرارة وسط التخمر .

٨. التخفيف (Dilution): كلما زاد تخفيف المخلفات بالماء فى الهاضم كلما تحصلنا على نتائج أفضل لأن الماء يعمل على طرد الهواء من الهاضم قبل بدء الإنتاج كما يساعد على تكاثر الميكروبات وتجانس توزيعها فى الخليط وتقليل اللزوجة بها. وتختلف نسبة التخفيف حسب نوع المخلفات من واحد مخلفات : واحد ماء . وقد تزداد حتى تصل إلى ١٠ ماء فى بعض الحالات .

اللزوجة (Viscosity): زيادة لزوجة الخليط الجارى تخميره أثناء الإنتاج بسبب الصمغ والمواد المعقدة المكونة يثبط من نشاط بكتيريات الميثان وتمنع تجانس إنتشارها بالخليط - ويقلل من تأثير هذا العامل بالتحميل المناسب للهاضم وزياده تخفيف المخلفات .

١٠. **التقليب** : تزود بعض وحدات الإنتاج بمقلبات Blenders ، وهذه تساعد على زيادة كفاءة الإنتاج نتيجة لجودة تقليب وخطل المكونات والتوزيع المتجانس للميكروبات بالخليط وتكسير الصمغ والرغوى المتكونة ، كما أن تكون أغشية Scum فوق سطح المواد المخمرة بالهاضم يمنع إنسياب الغاز ، لذا يلزم تكسيها بين حين وآخر .

١١. **طبيعة المخلفات المضافة**: المواد المستعملة هي المخلفات الأدمية والحيوانية والنباتية . وقد إمتد المجال لتشمل مخلفات المجارى والمصانع . ويتوقف الإنتاج ونسبة الغازات على طبيعة تلك المخلفات وتركيبها الكميائي من حيث عناصر NPK ونسبة ك : ن (سبق أن تعرضنا لها) .

وتعتبر المخلفات ذات النسبة $1N : 30C$ من أنسب المخلفات لعمل ونشاط البكتيريات المنتجة لغاز الميثان . وتعتبر المواد الغنية فى النيتروجين كمخلفات الإنسان والطيور بصفه عامه أفضلها . وإذا كانت المخلفات فقيره فى النيتروجين والفوسفور فيجب إضافة هذه العناصر بكميات مناسبة للخليط . وكلما زادت نسبة اللجنين Legnin بالمخلفات المستعمله كلما إزدادت صعوبة عملية التخمر وطالت مدتها كما فى حالة إستعمال حطب القطن ، وفى هذه الحالة فإنه ينصح بعمل Precomposting لمثل هذه المخلفات قبل وضعها فى الهاضم لإنتاج البيوجاز .

وتضاف المخلفات إلى الهاضم على دفعات Batches أو مستمرة Continuous وذلك حسب طريقة التخمر المستعملة ، ويتم سحب البقايا من أسفل للوحده Unit .

١٢. **مدة التخمر** : تتوقف على العوامل السابقة وقد تصل إلى أسبوعين أو أكثر .

عملية الإنتاج : Biomethanation

تقام وحدة إنتاج البيوجاز قرب أماكن توفر المخلفات العضوية ومصدر المياه وقرب أماكن إستخدام الغاز الناتج . وتتكون الوحدة من :

١. الهاضم (Digester): وهو الجزء الأساسي بالوحدة وفيه توضع المخلفات وتتم عملية التخمر ميكروبياً لإنتاج البيوجاز.

٢. مخزن تجميع الغازات (Gas holder) : وفيه تجمع الغازات الناتجة من الهاضم ، ومنه يوجه الغاز إلى أماكن الإستعمال.

٣. أحواض تجميع وخط المخلّط .

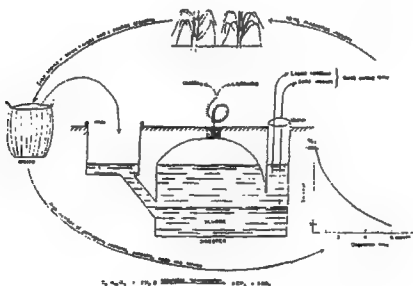
٤. مجموعة من أنابيب والوصلات (Pipeline and pipe fittingo): وتقام وحدة الإنتاج في مكان مكشوف معرض

للسمس بعيداً عن مستوى الماء الأرضي (يكون على بعد ٥ م على الأقل من السطح طوال العام) . وطبيعة ونظام بناء الوحدة يتوقف على ظروف المنطقة المحلية وما يتوفر بها من خامات . وتقام الوحدة بالقرية لخدمة منزل واحد Family Project أو عدة منازل متجاورة بدلا من وحدات منفصلة لخدمة القرية Community Project.

الهاضم Digester

يختلف حجم الهاضم وهو وحدة إنتاج الغاز الحيوي باختلاف كمية المخلفات المطلوب تخميرها . فالوحدة ذات الحجم ٣م^٢ يلزم لها يوميا ٤٠ كيلوجرام من الروث (٢-٣ بقرات) وتنتج ٧٠ قدم^٣ من البيوجاز يوميا . بينما الوحدة التي حجمها ٣١٠م^٣ يلزم لها ٢٠٠ كيلوجرام روث يوميا وتنتج ٣٥٠ قدم^٣ من الغاز يوميا.

ويوجد نظامان لبناء الهاضم : أولهما النظام الهندي ، والثاني النظام الصيني وفي كلا النظامين يبنى الهاضم تحت سطح الأرض ، أما مخزن تجميع الغازات فيوجد فوق سطح الأرض في النظام الهندي ، وللشكل رقم ٢٥ يبين دورة البيوجاز في النظام الصيني . ويبنى الهاضم في النظام الهندي تحت سطح الأرض في صورة حجرة أسطوانية بارتفاع ٤.٥ متر فقط ٢ متر (للنوع المعتاد) ، وبه حاجز طولى يقسم الحجرة إلى قسمين لزيادة كفاءة التخمر ، وبكل قسم أنبوبة معدنية واحدة لدخول المخلفات Inlet والأخرى لخروج Outlet البقايا بعد الإستعمال. وبجوار أو أعلى الهاضم (شكل رقم ٢٦) يقام مخزن تجميع الغازات Ggas holder ومن المعروف أن هذا الهاضم يغطى تكاليف إنشائه في خلال ثلاث سنوات ويمكن أن يستمر في العمل لمدة عشرة سنوات .



Source: FAO Soils Bull. No. 40, 1977

شكل رقم ٢٥ : دورة البيوجاز في النظام الصيني

التخمير على مرحلتين Two Phase Digester

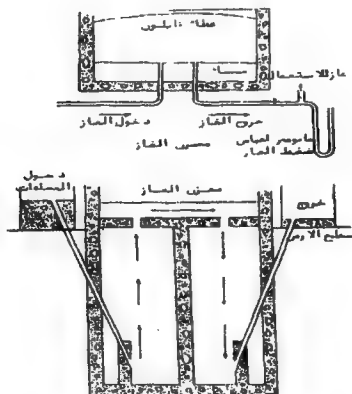
من التعديلات التي أجريت في مصر على نظام التخمير بهدف تحسين عملية إنتاج غاز الميثان هي إجراء عملية إنتاج البيوجاز في مخمرين بدلا من مخمر واحد . وفي هذا النظام تفصل عملية التخمير Digestion الخاصة بإنتاج المركبات الوسطية ، عن عملية إنتاج الميثان أي الخاصة بتحويل نواتج التخمير إلى ميثان ، حيث أن ميكروبات كل عملية لها الظروف البيئية الخاصة بها من ناحية Eh ، pH . ففي المخمر الأول يتم تحليل المخلفات العضوية لتكوين الأحماض والمركبات الوسطية ثم تسحب السوائل المتخمرة بمضخات وتنقل إلى المخمر الثاني الخاص بتكوين الغاز . وبإجراء عملية التخمير على مرحلتين ، فلنا نزيد من كفاءة عملية إنتاج الغاز الحيوى.

وذلك بتوفير الوسط المناسب لبكتيريا الميثان في المخمر الثاني ، حيث تعتبر الحموضة العالية المكونة في المخمر الأول من العوامل المثبطة لها . بالإضافة إلى ذلك فإنه يمكن وضع إطارات في المخمر الثاني من مادة Rubber foam 2 × 1م مقواة بخيوط بلاستيك تعتبر كدعامات تستقر عليها بكتيريا الميثان لتنمو وتتكاثر . ومن الاتجاهات الجارية الآن في مصر استخدام الطاقة الشمسية لتسخين محتويات المخمر خاصة أيام الشتاء واستخدام طاقة الرياح لتقليب محتويات المخمر .

تشغيل الهاضم :

عند بدء التشغيل ، يملأ الهاضم بمخلوط من المخلفات والماء ، ثم يتم التوصيل بخزان الغاز الذى يمثل فى فترة بيرلوح من ١٥ - ٢٠ يوم ، ويراعى التخلص من هذه الكمية الأولى من الغاز حيث أنها تكون مختلطة

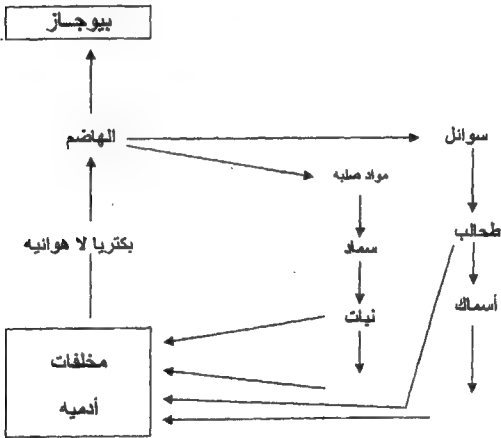
بالهواء وعند اشتعالها تحدث إنفجاراً لذلك يستعمل البيوجاز كوقود عند خلود من الهواء . ويلاحظ أن كمية الغاز الناتجة في فصل الشتاء تقل بدرجة ملحوظة لإنخفاض درجة الحرارة في الهاضم وللتغلب على ذلك يستعمل ماء دافئ في تخفيف المخلفات أو توصل بمكثف للطاقة الشمسية . والغاز الناتج من الهاضم عبارة عن هو خليط الغازات أغلبها الميثان CH_4 وثاني أكسيد الكربون CO_2 (راجع جدول رقم ٢٧) .



Digester and gas holder

شكل رقم ٢٦ : مقطع في الهاضم ومخزن جميع الغازات
كما ينفذ في مصر تطويراً للنظام الهندي

لذلك يجب العمل على التخلص من الغازات التي تقلل من كفاءة البيوجاز كوقود ، فمثلاً CO_2 يقلل من درجة اشتعال الميثان . إذا كانت كمية H_2S كبيرة فإنها تسبب تآكل لجميع الأنابيب المعدنية علاوة على رائحته الكريهة وتأثيره السام على بكتيريا الميثان . والشكل رقم ٢٧ يوضح الدورة المتكاملة لإنتاج البيوجاز .



شكل رقم ٢٧ : دورة إنتاج البيوجاز في الطبيعة

المراجع

References

المراجع

References

- سامى محمد شحاته ومحمد راغب الزناتى وبهجت السيد على (١٩٩٣) .
 الأسمدة العضوية والأراضى الجديدة - الدار العربية للنشر والتوزيع
 - القاهرة - مصر .
- سعد على زكى محمود (١٩٨٨) . ميكروبيولوجيا الأراضى - الطبعة الأولى
 - مكتبة الأنجلو المصرية - ش محمد فريد - القاهرة - مصر .
- سعد على زكى محمود وعبد الوهاب عبد الحافظ ومحمد الصاوى مبارك
 (١٩٨٧) . ميكروبيولوجيا الأراضى - مكتبة الأنجلو المصرية - ش
 محمد فريد - القاهرة - مصر .
- عبد الوهاب عبد الحافظ ومحمد الصاوى مبارك (١٩٩٦) . الميكروبيولوجيا
 التطبيقية - المكتبة الكاديمية - ش التحرير - النقى - القاهرة -
 مصر .
- مارتن الكسندر (١٩٨٢) . مقدمة في ميكروبيولوجيا التربة - جون وايلى -
 نيويورك - الطبعة الثانية - مكتبة الأهرام - القاهرة - مصر .
- ماهر جورجى نسيم (١٩٨٩) . الأسمدة وخصوبة التربة - وزارة التعليم
 العالى والبحث العلمى - جامعة الموصل .
- محمد نبيل علاء الدين وآخرون (١٩٨٣) . البيوجاز للريف المصرى :
 طاقة، سماد ، علف - وزارة الزراعة المصرية - الجيزة - مصر .

محمد بن حمد محمد الوهيبي (٢٠٠٣). التغذية المعدنية في النباتات - مطابع
جامعة الملك سعود.

Alexander , M. (1971). Microbial Ecology, John wiley & Sons
Inc . New York.

Alexander, M. (1982). Introduction to Soil Microbiology. The
2nd ed., John Wiley & Sons Inc. New York.

APH. (1989). The biogas technology in China, Agriculture
publishing house, Chengdu biogas research institute of the
ministry of agriculture, China.

Badger , D. M., Bogue, M.J. and Stewart,D.J. (1979). Biogas
production from crops and organic wastes. I: Results of
batch digestion . New Zealand J.Sci. 22 : 11 – 20.

Badger, D. M., Bogue, M. J. and Stewart, D.J. (1979). Biogas
production from crops and organic wastes, 1. Results of
batch digestion, New Zealand Journal of Science, 22. 77-
20.

Balch,W.E.,Fox,G.E.,Magrum , L.J.,Woese,C.R. and Wolfe,R.S.
(1979). Methanogenic revolution of a unique biological
group . Microbiol.Rev. 43 : 260 – 296.

Bansal, R. K. (1980). Laboratory Manual in Organic Chemistry.
Wiley Eastern Ltd, New Delhi.

- Dewis, J. and F. Freitas (1970). Physical and chemical Methods of Soil and Water Anaysis. Food and Agriculture Organization, UN, Rome.
- El-Agrodi, M.W.; El-Fadaly, H. Shams El-Din, H.A. and El-Shehawy, A.M. (2003). Effect of phosphorus fertilization and grains inoculation with phosphate dissolving bacteria on microbiology of rhizosphere, yield and yield component of wheat plant. J. Agric. Sci., Mansoura Univ., 28(8): 6353-6369.
- El-Fadaly, H.; El-Agrodi, M.W.; Shams El-Din, H.A. and El-Shehawy, A.M. (2003). Effect of phosphorus fertilization and seeds inoculation with phosphate dissolving bacteria on microbiology of rhizosphere, yield and yield component of faba bean plant. J. Agric. Sci., Mansoura Univ., 28(8): 6371-6388.
- Hobson , P . N ., Bousfield , S.and Summers , R. (1980). Methane production from Agricultural and Domestic Wastes. Appl . Sci.Publishers.Barking ,England .
- Holt, J. G., Krieg, N. R. Sneath, P. H. A., Stanley, J. T. and Williams, S. T. (1994). Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. The 9th ed., Williams & Wilkins, Baltimore, USA.

- Krishna, G. and Ranjhan, S. K. (1980). Laboratory Manual for Nutrition Research. Vikas Pub. House PVT LTD, New Delhi.
- Prasad, C.R. Prasad, K.K. and Reddy, A.K.N. (1974). Biogas plants: prospect, problems and tasks. Economic and Political Weekly, India.
- Rahman, M.H. (1996). Biogas: environmental aspects and potential for generation in Bangladesh, P., K.V.J. Env. Educ. and Inf., UK.
- Rajabapaiah, P., Ramanaiah, K.V., Mohan, S.R. and Reddy, A.K.N.. (1979). "Studies in Biogas Technology: Part I- Performance of a Conventional Biogas Plant." Processings of the Indian Academy of Sciences C2 pp. 357-64.
- Shukla, R.S. and Chandel, P.S. (1985). Plant Ecology. Chand, S & Cenp. LTD, Ram Nagar, New Delhi.
- Sinha, B.P. (1984). Basic principles of digester design, Proc. of the Seminar on biogas from human excreta. Sulabh international Patna, Bihar, India.
- Subba Rao, N. S. (ed.) (1982). Advances in Agricultural Microbiology. Oxford & IBH publishing Co., New Delhi, India.

Sylvia, D.M.; Fuhrmann, J.J.; Hartel, P.G. and Zuberer, D. A. (1998). Principles and applications of soil microbiology. Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA.

WHO (1984). World Health Organization, Guidelines for Drinking Water Quality. Vol. 1. Recommendation, Health Center and Other Supporting Informations. Geneva, pp : 53-60.

Yagodin, B.A. (1984). Agricultural chemistry 1. Mir Publishers, Moscow.

Yagodin, B.A. (1984). Agricultural chemistry 2. Mir Publishers, Moscow.

أبحاث منشورة للمؤلف

1. **Abdel-Aziz, F.A.; El-Fadaly, H.; Ismail, I.; Kassem, M. and El-Hersh, M. (2000).** Potentialities of some synthesized metallic complexes on biogenic amines formation by bacteria. The 8th IBN SINA Inter. Conf. on Pure and Appl. Heterocyclic Chem., Feb. 16-19, Luxor, Egypt, P: 302.
2. **Abdel-Baky, N.F.; Abdel-Salam, A.H. and El-Fadaly, H. (2003).** *Pulvinaria tenuivalvata* (Newstead) and its natural enemies in ratoon sugar cane at Dakahlia Governorate. J. Agric. Sci. Mansoura Univ., 28(7): 2699-2712.
3. **Abdel-Baky, N.F.; El-Fadaly, H.; M.E. El-Nagar; Nehal Arafat and R. H. Abd-Allah (2005).** Virulence and enzymatic activities of some entomopathogenic fungi against white flies and aphids. J. Agric. Sci. Mansoura Univ., 30(2): 1153-1167.
4. **Abdelhamid, M. A.; H. A. El-Fadaly and S. N. Ibrahim (2007).** Studies on integrated fish/duck production system : I- On water quality and fish production J. Agric. Sci. Mansoura Univ., 32 (7): 5225-5244.
5. **Abdelhamid, M. A.; H. A. El-Fadaly and S. N. Ibrahim (2007).** Studies on integrated fish/duck production system : II- On duck production. J. Agric. Sci. Mansoura Univ., 32 (8): 6239-6248.
6. **Dina, Makia; El-Fadaly, H.; M. M. El-Dafrawy (2007).** Aluminum evaluation in drinking water. J. Environ. Sc., 33 : 105-119.
7. **El-Agrodi, M.W.; El-Fadaly, H.; Shams El-Din, H.A. and El-Shehawy, A.M. (2003).** Effect of phosphorus fertilization and grains inoculation with phosphate dissolving bacteria on microbiology of rhizosphere, yield and yield component of wheat plant. J. Agric. Sci., Mansoura Univ., 28(8):6353-6369.
8. **El-Badrawy, E.E.Y. and El-Fadaly, H. (2000).** Antibacterial activities of citrus peel extracts against some pathogenic

- bacteria. Home Econ. Future Prospects, Helwan Univ. Suppl. of the 6th Sci. Conf. Home Econ., 23-24 April, 206-221.
9. **El-Badrawy, E.E.Y. and El-Fadaly, H. (2002).** Antifungal and antioxidative activities of some phenolic acids extracted from bees honey propolis. Mansoura Sci. Bull. (A. Chem.), 28(1), Suppl., of the 6th Inter. Conf. Chemistry and its Role in Development. Mansoura Univ., 17-20 April, 285-306.
 10. **El-Defrawy, M.; El-Fadaly, H.; El-Zawawy, F. and Makia, D. (1998).** Assessment of trace metal ions on raw and treated water in Dakahlia drinking water purification station. The Inter. Conf. Hazardous Waste, Cairo, Egypt, 12-16 December, 187-191.
 11. **El-Fadaly, H. (1993).** Profiles of continuous fermentation for thermostable alkaline proteinase. The 5th European Conf., SFM Institute Pasteur, Paris, France, 3-4 April, P: 87.
 12. **El-Fadaly, H. (1996).** Biohydrolysis of some poultry by-products. 1. Factors involved in keratinase production from feather under mesophilic conditions. Arab Univ. J. Agric. Sci., Ain Shams Univ., Cairo, 4(1&2):39-52.
 13. **El-Fadaly, H. (1997).** Efficacy of certain plant extracts on some phytopathogenic fungi. The 9th Conf. Microbiol., Cairo, Egypt, 25-27 March, 241-257.
 14. **El-Fadaly, H. (2000).** Microbial treatment of food industrial effluent: A review. The 1st Mansoura Conf. Food Sci. & Dairy Technol., 17-19 Oct., 263-279.
 15. **El-Fadaly, H. and Afify, A.H. (1995).** Some properties of thermostable neutral protease produced by *Bacillus stearothermophilus*. J. Agric. Sci., Mansoura Univ., 20(4):1429-1440.
 16. **El-Fadaly, H. and El-Badrawy, E.E.Y. (2000).** Inhibition of eneteric pathogens in milk using citrus peel extracts and associative effect on the growth of lactic acid bacteria. Symp. Food Add., 10-11 May, Alex., Egypt, P: 10-11.

17. **El-Fadaly, H. and El-Badrawy, E.E.Y. (2000).** Relationship between chemical composition and inhibitory effect of plant extract on food-contaminating fungi. Conf. Social & Agricultural Develop. Sinai, Suez Canal Univ., Al-Aresh, North Sinai, Egypt, 16-19 May, 453-459.
18. **El-Fadaly, H. and El-Badrawy, E.Y. (1998).** Antimicrobial potentialities of peel extracts of some *Citrus spp.* The 8th Inter. Conf. "Environmental Protection is a Must", Alex., Egypt, 5-7 May, 273-282.
19. **El-Fadaly, H. and El-Badrawy, E.Y. (2001).** Flavonoids of propolis and their antibacterial activities. Pakistan J. Biol. Sci., 4(2):204-207.
20. **El-Fadaly, H. and Ibrahim, G.A. (1998).** Effect of citrus peel extracts on some pathogenic bacteria compared to some lactic acid bacteria. Egypt. J. Appl. Sci., 13(7B):536-550.
21. **El-Fadaly, H. and Nyeste, L. (1993).** Growth characteristics of a thermoproteolytic bacterium in continuous flow cultivation. Europ. Sympo. Biocatalysis, Graz, Austria, 12-17 Sept., P: 59.
22. **El-Fadaly, H. and Sevela, B. (1992).** Production and characterization of *Bacillus* enzyme, thermostable proteinase. The Inter. Conf. Thermophiles: Science and Technology, Reykjavik, Iceland, 23-26 August, P: 21.
23. **El-Fadaly, H. and Zaied, K.A. (1997).** Efficiency of bioconversion of chicken feather by transconjugated bacterial strains. Bull. Fac. Agric., Cairo Univ., 48(2):329-350.
24. **El-Fadaly, H. and Zaied, K.A. (1997).** Microbial degradation of chicken feather in batch culture. Proc. Mini-Symposium on Biosorption and Microbial Degradation V, Prague, 24-28 Nov., 12-14.
25. **El-Fadaly, H. and Zaied, K.A. (1997).** Yield and relative increase of feather biohydrolysis products by *Micrococcus* strains. The 9th Conf. Microbiol., Cairo, Egypt, 25-27 March, 266-276.

26. **El-Fadaly, H. and Zaid, K.A. (1999).** Microbial degradation of native keratin in batch fermentation. *Pakistan J. Biol. Sci.*, 2(3):627-634.
27. **El-Fadaly, H. El-Defrawy, M. El-Zawawy, F and Makia, D. (2001).** Chemical and microbiological evaluation of River Nile water in Dakahlia governorate . *J. Environ. Sci., Mansoura Univ.*, 22, 1-18.
28. **El-Fadaly, H.; A. El-Gamal; M. Kassem and Amany El-Deeb (2006).** Chemical and bacteriological quality of farm and retail milk samples. The 8 Sci. Vet. Med. Conference, Zagazig University, Aug. 31-Sept. 3, Hurghada, Red Sea, A.R.E., 431-446.
29. **El-Fadaly, H.; A. El-Gamal; M. Kassem and Amany El-Deeb (2006).** Detection of some bacterial enzymes in raw milk samples. The 3rd Arab Mansoura Conf. Food and Dairy Sc. & Technol., Mansoura Univ., 20-23. Nov., Hurghada, Red Sea, A.R.E., 1-13.
30. **El-Fadaly, H.; Abdilla, F.S. and El-Badrawy, E.Y. (1999).** Comparative study between Yemeni and Egyptian types of honey by means of antibacterial activity. *Pakistan J. Biol. Sci.*, 2(1):1-6.
31. **El-Fadaly, H.; El-Agrodi, M.W.; Shams El-Din, H.A. and El-Shehawy, A.M. (2003).** Effect of phosphorus fertilization and seeds inoculation with phosphate dissolving bacteria on microbiology of rhizosphere, yield and yield component of faba bean plant. *J. Agric. Sci., Mansoura Univ.*, 28(8):6371-6388.
32. **El-Fadaly, H.; El-Badrawy, E.E.Y. and Abou-Zeid, A. (2000).** Relationship between chemical composition and inhibitory effect of plant extracts on food contaminating fungi. The 9th Inter. Conf. Egypt. Soc. Inf. Control, 24-26 Oct., Faculty of Medicine, Mansura Univ., Mansoura, Egypt, P: 82.
33. **El-Fadaly, H.; El-Defrawy, M.; El-Zawawy, F. and Makia, D. (1998).** Quality of some groundwater samples and heavy

- metals removal of wastewater by microorganisms. The 4th Inter Conf. Potable Water Management and Water Treatment Technologies, Cairo, Egypt, 3-5 December, 1-13.
34. **El-Fadaly, H.; El-Defrawy, M.; El-Zawawy, F. and Makia, D. (1998).** Chemical and microbiological analysis of certain water sources and industrial wastewater samples in Dakahlia governorate. Inter. Conf. Hazardous Waste, Cairo, Egypt, 12-16 December, 217-225.
 35. **El-Fadaly, H.; El-Defrawy, M.; El-Zawawy, F. and Makia, D. (1999).** Microbiological and chemical aspects on some fresh water and industrial waste water samples. Pakistan J. Biol. Sci., 2(3):1017-1023.
 36. **El-Fadaly, H.; El-Defrawy, M.; El-Zawawy, F. and Makia, D. (2000).** Chemical and microbiological analyses of certain water sources and industrial wastewater samples in Egypt. Pakistan J. Biol. Sci., 3(5): 777-781.
 37. **El-Fadaly, H.; El-Defrawy, M.; El-Zawawy, F. and Makia, D. (2003).** Reduction of heavy metals from some industrial wastewater by some heterotrophic bacteria. J. Product. & Dev., 8(2):361-375.
 38. **El-Fadaly, H.; El-Gamal; M. Kassem and Amany El-Deeb (2005).** Inhibition of zoonotic bacteria obtained from milk samples using some plant volatile oils. The 2nd Arab Mans. Conf. Food & Diray Sci. & Technol., 22-24 March, 67-81.
 39. **El-Fadaly, H.; El-Gammal, M. I.; S. El-Sayed and Dina Maki (2007).** Applicability of biosorption technology to remediate metal-containing tanning process industrial effluent. J. Union Arab Biol., Cairo, 27 A : 225-244.
 40. **El-Fadaly, H.; El-Laithy, B.E.A. (2008).** Biological activity of Egyptian propolis against some postharvest phytopathogenic fungi. Egyp. J. Appl. Sci. 23 (9): 36-43. presented in the 4th Annual Inter. Sci. Conf. of the Egyptian Society of Environmental Toxicology 11-14 Nov. 2008.

41. **El-Fadaly, H.; El-Laithy, B.E.A. (2008).** Efficacy of propolis as natural bioagent against soil born phytopathogenic fungi. *Egypt. J. Appl. Sci.* 23 (9): 44-53.
42. **El-Fadaly, H.; El-Shabrawy, H.M.; El-Deeb, M.M. and Mehrez, A.Z. (2003).** Effect of formaldehyde treatment of concentrate feed mixture and source of roughage on fermentation and some bacterial activities in the rumen of sheep. *The Proc. of 9th Sci. Conf. on Animal Nutrition and Feeds Part II*, 14-17 Oct., Hurghada, Egypt, 1131-1142.
43. **El-Fadaly, H.; Fatma, I. El-Hawary; S. A. El-Saied and Amal Y. El-Shafey (2008).** Production of single cell oil from corn gluten meal by *Candida lipolytica*. *J. Agric. Sci. Mansoura Univ.*, 33 (7): 5245-5255.
44. **El-Fadaly, H.; Fatma, I. El-Hawary; S. A. El-Saied and Amal Y. El-Shafey (2008).** Conversion of corn gluten to microbial oil by *Rhodotorula glutinis*. *J. Agric. Sci. Mansoura Univ.*, 33 (7): 5271-5281.
45. **El-Fadaly, H.; H. M. Fathy, E.E. Thaewat and A.A. Tolba (2007).** Antifungal activity of honey bees propolis ethanolic extrac. *J. Agric. Sci. Mansoura Univ.*, 32 (7): 5697-5707.
46. **El-Fadaly, H.; Hamed, M.; Kassem, M. and Hassan, F. (1998).** Detection of some microbial enzymes in curing solution and chemical description of meat during the curing process. *Egypt. J. Nutrition. XIII* (1): 94-114.
47. **El-Fadaly, H.; Hamed, M.; Kassem, M. and Hassan, F. (1998).** Detection of some microbial enzymes in curing solution and chemical description of meat during the curing process. *J. Home Econ. Minufiya Univ.*, 8 (4): 27-43.
48. **El-Fadaly, H.; Hassan, B. and El-Badrawy, E.Y. (1999).** Antifungal potentialities of some plant extracts compared to some yeasts and bacteria. *The African J. Mycol. Biotechnol.*, 7(3), Suppl. II. of the 2nd Inter. Conf. Fungi; Hopes & Challenges, Cairo, 29th Sept. – 1st Oct., 95-108.

49. **El-Fadaly, H.; Ibrahim, I. and Hamdy, N. (2002).** Isolation and identification of keratinase producing bacteria. *J. Agric. Sci. Mansoura Univ.*, 27(6):4083-4095.
50. **El-Fadaly, H.; Ibrahim, I. and Hamdy, N. (2002).** Optimization for bacterial keratinase production in a low cost medium. *J. Agric. Sci. Mansoura Univ.*, 27(6):4097-4113.
51. **El-Fadaly, H.; Ibrahim, I.; Kassem, M. and El-Hersh, M. (1996).** Microbiological examination and quantitation of some biogenic amines in contaminated meat at low temperature. *Proc. Food Borne Cont. & Egypt. Health Conf., Mansoura Univ.*, 26-27 Nov., 321-332.
52. **El-Fadaly, H.; Ibrahim, I.; Kassem, M. and El-Hersh, M. (1997).** Inhibitory effect of some plant extracts on food borne bacteria. *Mansoura Med. J.*, 27(1&2):259-272.
53. **El-Fadaly, H.; Ibrahim, I.; Kassem, M. and El-Hersh, M. (2002).** A trial to reduce production of toxic biochemical substances in contaminated food. *Egypt. J. Chem.*, 45(1):165-177.
54. **El-Fadaly, H.; Ibrahim, I.; Kassem, M. and El-Hersh, M. (2002).** Growth inhibition of biogenic amines producing bacteria isolated from food samples. The 2nd Conf. Food borne Contamination and Egyptians Health, 23-24 April, Mansoura Univ., El-Mansoura, Egypt, 271-285.
55. **El-Fadaly, H.; Ismail, I.; Kassem, M. and El-Hersh, M. (2002).** A trial to reduce production of toxic biochemical substances in contaminated food. *J. Drug Res. Egypt*, 24(1-2):167-172.
56. **El-Fadaly, H.; Kassem, M. Hamed, M. and Hassan, F. (2000).** Description of microbial and chemical changes during the tenderization process of buffalo meat. *J. Agric. Sci., Mansoura Univ.*, 25(1):451-462.
57. **El-Fadaly, H.; Kassem, M. Ibrahim, I. and El-Hersh, M. (2002).** Detection of biogenic amines and microbiological evaluation of some food samples. The 2nd Conf. Food borne

Contamination and Egyptians Health, 23-24 April, Mansoura Univ., El-Mansoura, Egypt, 255-269.

58. **El-Fadaly, H.; Mehrez, A.; El-Ayouty, E.; Gabr, A. and El-Deeb, M. (2001).** Response of ruminal fermentation parameters to different ratios of diets. The 2nd Inter. Conf. Animal Prod. & Health in Semi-Arid Areas, 4-6 Sept., El-Arish, North Sinai, Egypt, 213-226.
59. **El-Fadaly, H.; Nasr, S.A. and Zin El-Din, M. (1999).** Effect of citrus peel extract on enteric pathogens and lactic acid bacteria in milk. Symp. Starter Culture and Their Use in Dairy Industry. Alex., Egypt, 15-17 Nov., P: 175-176.
60. **El-Fadaly, H.; S. El-Said; M. El-Gammal and D. Makia (2006).** Bacterial treatment of tanning industrial by-products, The 3rd Int. Conf. for Develop. and the Environ. In the Arab World, Assiut Univ., Assiut, Egypt, 21-23 March, 41-52.
61. **El-Fadaly, H.; Sanad, M.I. and Erian, N.S. (1996).** Biochemical evaluation of microbiologically treated poultry feather and processed cattle hair. Proc. Food Borne Cont. & Egypt. Health Conf., Mansoura Univ., 26-27 Nov., 333-343.
62. **El-Fadaly, H.; Sevelle, B. and Nyeste, L. (1993).** Fermentation and properties of thermostable proteinase. Acta Alimentaria, 22(2):97-106.
63. **El-Fadaly, H.; Sevelle, B. and Nyeste, L. (1993).** Optimization of culture medium composition for proteolytic enzyme production. The Inter. Conf. Thermophiles, 12-15 Dec., Hamilton, New Zealand, P: 51.
64. **El-Fadaly, H.; Sevelle, B. and Nyeste, L. (1993).** Purification and kinetics of a thermostable alkaline proteinase. The Inter. Conf. Thermophiles, 12-15 Dec., Hamilton, New Zealand, P: 27.
65. **El-Fadaly, H.; Sevelle, B. and Szigeti, L. (1991).** Production of detergent proteinase in a low-cost medium. The Inter. Conf., COBIOTECH: Biotechnology East and West. Bratislava, CSFR, 3-5 Nov., P: 64.

66. El-Fadaly, H.; Sevela, B. and Szigeti, L. (1992). Production of detergent proteinase in a low-cost medium. The 3rd Inter. Cong., SFM, Lyon, France, 21-24 April, P: 159
67. El-Fadaly. H.; Sevela, B. and Szigeti, L. (1992). Thermostable alkaline proteinase, fermentation and properties. Acta Biol. Deb. Suppl., (Prescencyi ed.), Debrecen, Hungary, 54-59.
68. El-Fadaly, H.; Sevela, B. and Szigeti, L. (1992). Thermostable proteinase: Fermentation and properties. Fermentation Colloquium Hajduszoboszlo, Hungary, 22-24 April, P: 55.
69. El-Fadaly, H.; Slim, A.E.; Affify, A.H. and A. Abd El-Rahman (2006). The use of suger beet industrial by-products for amylases production by *Aspergillus fumigatus*. J. Agric. Sci. Mansoura Univ., 31(4):2345-2358.
70. El-Fadaly, H.; Zaied, K. and Hamdy, N. (2003). Effect of gamma irradiation treatment on keratinase production of *Bacillus licheniformis* strain. Egypt. J. Microbiol., 38 (3): 297-310.
71. El-Gammal, M. S. El-Sayed; H. El-Fadaly, and D. Makia (2006). Microbial treatment of sugar beet industrial effluent. J. Environ. Sc., Mansoura Univ., 31 : 129-152.
72. Elhassaneen, Y.A.; El-Fadaly, H. and Dewan, N.E. (2003). Bioremoval of toxic substances from edible oils as affected by deep-fat frying process. Pakistan J. Biol. Sci., 6 (24) : 1979-1990.
73. El-Hawary, Fatma; El-Fadaly, H. and Sabrien A. Omer (2007). Color elimination of molasses by microorganisms. The 1st Inter. Conf. Environ. Sciences. Mansoura-Hurghada 13-16 March, MO 29.
74. El-Shabrawy, H.M. and El-Fadaly, H. (2006). Effect of feeding regime and formaldehyde treatment of diets for crossed friesland cows on their milk productivity and microbiology. Egypt. J. Animal Product. 43 (1): 25-39.

75. Farid, B.; M. El-Harsh; Ismail; H. El-Fadaly, and Samia Hawas (2004). Biogenic amines in food : occurrence , therapeutics and toxicity. The 2nd Annual Environ. Conf., 13-15, April, Mansoura, Egypt, P: 59.
76. Ismail, I.; Kassem, M.; El-Fadaly, H. and El-Hersh, M. (2000). Microbiological studies on biogenic amines. I. Potential effect of lactic acid bacteria on biogenic amines producing bacteria. The 3rd Inter. Cong. FASBMB, 14-16 Nov., Sonesta Hotel, Cairo, Egypt, P: 235-236.
77. Kosba, Z.A.; El-Fadaly, H. and Zaied, K.A. (1997). Effect of caffeine on base-pair substitution and frameshift mutagenesis induced in *Salmonella typhimurium*. Mansoura J. Forensic Med. Clin. Toxicol., 5(2):17-34.
78. Nashy, E. H. A., El-Fadaly, H., Ahmady, A. M., Ismail, S. A. and N. H. El-Sayed (2005). Enzymatic bacterial dehairing of bovine hide by a locally isolated strain of *Bacillus licheniformis*. J. Sci. Lether Technol. Chemist., 89 (6) : 242-249.
79. Selim, A.E.; El-Fadaly, H.; Afify, A.H. and Abd El-Rahman, A. (2003). Production of cellulolytic enzymes by *Trichoderma viride* grown on sugar beet industrial wastes. J. Agric. Sci. Mansoura Univ., 28 (12): 8407-8417.
80. Sevela, B.; El-Fadaly, H. and Szigeti, L. (1991). Screening and optimization of thermostable proteinase producing bacterial strains. The 33rd IUPAC Congress, Budapest, Hungary. 17-22 August. P: 198. (Member of Executive Committee).
81. Zaied, K.A. and El-Fadaly, H. (1997). Use of transconjugant vigour for efficient bioconversion of feather waste. Bull. Fac. Agric. Cairo Univ., 48(3):529-548.
82. Zaied, K.A. and El-Fadaly, H. (1998). Regression analysis of feather biodegradation data. Alex. J. Agric. Res., 43(2):191-204.

رقم الإيداع

٢٠٠٨/٢٢٥١

6251/ 2008

الترقيم الدولي

٩٧٧ - ٦١٨٦ - ٥٩ - ٩

I.S.B.N 977 - 6186 - 59 - 9

Bibliotheca Alexandrina



0679580

